







Johannes Keplers
Mathematikers Sr. Kaiserlichen Majestät

Dioptrik

oder

Schilderung der Folgen, die sich aus der unlängst gemachten Erfindung der Fernrohre für das Sehen und die sichtbaren Gegenstände ergeben

Augsburg
Druck von David Franke
Mit kaiserlichem Privileg für 15 Jahre
1611

Übersetzt und herausgegeben

von

Ferdinand Plehn

Mit 43 Figuren im Text

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1904

Widmung.

[I] Dem hochwürdigsten und durchlauchtigsten ürsten und Herrn

Herrn Ernst Erzbischof von Köln,

eiligen römischen Reiches Kurfürsten, Erzkanzler in alien, Bischof von Lüttich, Verweser von Münster, ildesheim und Freising, Fürsten zu Stavelot, Pfalz- rafen bei Rhein, Herzog von Ober- und Nieder- ayern, Westfalen, Engern usw., Markgraf von ranchimont, meinem gnädigsten Herrn.

Hochwürdigster und durchlauchtigster Kurfürst, nädigster Herr!

Zu der großen Menge von Erfindungen dieses letzten Jahr- nderts ist vor einigen Jahren das Fernrohr hinzugekommen, elches man keineswegs unter die gewöhnlichen Instrumente chnen darf. Es haben sich einige um die Priorität der Er- dung gestritten, andere taten sich noch mehr auf die Ver- llkommnung des Instruments zugute, weil auf jener Seite rwiegend der Zufall walte, auf dieser hingegen die Vernunft e Herrschaft habe. Galilei aber feierte den schönsten Triumph rch die Nutzbarmachung des Instruments für die Erforschung r Geheimnisse der Astronomie, da ihm seine Unermüdlich- it im Experimentieren den Gedanken eingab, und das Glück n den Erfolg nicht vorenthielt. Ich selbst habe nun, ge- gen von einem ehrenvollen Wetteifer, den Mathematikern neues Feld für die Betätigung ihres Scharfsinns eröffnet, em ich die Ursachen und Grundlagen so heiß erstrebter und ihrer erfreulichen Mannigfaltigkeit so vielgestaltiger Ergeb- sse auf geometrische Gesetze zurückführte.

[II] Nachdem ich nämlich vor sechs Jahren den optis
Teil der Astronomie herausgegeben hatte, in welchem ich
den Mechanismus des Sehens in neuer Auffassung und
die optischen Gläser, meines Wissens als erster von ε
Dinge gelehrt hatte, die bis heute unerschüttert geblieben
da war es wohl angebracht, daß ich zeigte, wie dies
Grundlagen, auf denen ich die Theorie des Sehens unc
Wirkung einzelner Gläser aufgebaut hatte, auch für die
bindung verschiedener durchsichtiger Linsen zu einem Fer
ausreichen: und daß es sogar unmöglich sei (was die Ric
keit verbürgt), mit irgend welchen anderen Grundsätzen
deren ich mich bediente, den Beweis hierfür zu erbri
Da nun Euklid einen Teil der Optik, die Katoptrik,
schaffen hat, welche von den zurückgeworfenen Strahlen
delt, indem er den Namen von dem Hauptwerkzeuge c
Art, den Spiegeln und ihrer wunderbaren und erfreul
Vielgestaltigkeit hernahm, so entstand nach diesem Vorg
für mein Büchlein der Name Dioptrik, weil es hauptsäc
von den in dichten, durchsichtigen Medien gebrochenen Str
handelt, sowohl in den natürlichen Medien des menschl
Auges, als den künstlichen verschiedener Gläser. In d
Hinsicht unterscheidet es sich von der Katoptrik wie
Spezies von der anderen, jedoch in der Art, daß in erster
die Dioptrik, in zweiter die Katoptrik steht, weil es si
der Katoptrik um Bilder handelt, deren wahre Natur nur m
einer aus der Dioptrik zu schöpfenden Kenntnis des A
begriffen werden kann.

[III] Aus demselben Grunde habe ich die Mechanik
Sehens und die Theorie der einfachen optischen Gläser wi
holt; einmal, um die Dioptrik gewissermaßen vollständi
geben, dann aber, weil die Theorie des Instruments an
menschliche Auge anknüpft, und weil das Instrument s
aus einfachen Gläsern zusammengesetzt ist, so daß das
nicht ohne das andere entwickelt werden kann; endlich,
einige gemeint haben, ich hätte diese Dinge in der Opt
schwer verständlich behandelt, so daß viele nicht infolge ei
Schwerfälligkeit, sondern durch die Schuld des Lehrme
gehindert würden, die Ausführungen und Beweise zu verstel

diesen zu Hilfe zu kommen, habe ich hier einzelnes kürzer,
eres weitläufiger vorgetragen, manches mit anderen Worten
efaßt. Die Definitionen der Fachausdrücke, welche ich aus
Geometrie frei übernehme, habe ich mit fortlaufender
nmer zwischen den Lehrsätzen an passender Stelle auf-
ihrt; ferner habe ich die Anzahl der Figuren vermehrt (die
lie eigentliche Schrift des Mathematikers sind). Wenn ich
h auf diese Weise nicht jede Unklarheit beseitigt haben
e, so hoffe ich doch, daß diejenigen, welche wissenschaft-
geschult sind, meiner Schwäche etwas nachsehen und mit
er meiner Mühwaltung vorlieb nehmen werden.

Ich möchte noch hinzufügen, daß ich mich auf diese Arbeit
de zu einer Zeit geworfen habe, in der mein unter einem
mmernswerten Frost erstarrtes Gemüt durch die erwärmende
ne Ew. hochwürdigsten und durchlauchtigsten Hoheit Gegen-
t wieder belebt und durch Euren gnädigsten Zuspruch und
blässiges Mahnen, gleichsam wie von einem Götterboten,
dem Schlafe geweckt wurde. Dazu kam auch noch, daß
Mathematikus und Kammerherr, der edle Herr Zuckmesser,
n durch seine ebenso herrlichen wie genial erfundenen
rumente und kunstvoll geschliffenen Gläser — die, wie ich
Ew. höchstes Interesse erregten — zur Nacheiferung auf
em selben Gebiete herausforderte. [IV] Hätten mich nicht
e besonderen Gründe veranlaßt, meine Dioptrik Ew. hoch-
ligsten und durchlauchtigsten Hoheit zu widmen, so hätte
. schon jener eine, ganz allgemeine, genügt, daß mathe-
sche Bücher, weil sie dem allgemeinen Verständnis entrückt
deshalb gering geschätzt sind, niemand mit mehr Berechti-
; dargeboten werden, als solchen, die sie auch beurteilen
ien und die durch natürliche Schärfe des Geistes, durch
e zur Wissenschaft und durch Nachdenken zur vollen Er-
ing dieser Dinge vorgedrungen sind. Ob Ew. Hoheit in
ir Kenntnis unter den Fürsten unserer Zeit Eures Gleichen
n, ist mir unbekannt: unter den Universitätsprofessoren gibt
cherlich eine geringere Zahl, die zu solchem Urteil berufen
als man wünschen möchte.

enn nun alle Lobreden auf Gönner in den zahlreichen
widmungen ebenso wenig geschmeichelt wären, als diese,

dann würde — des bin ich sicher — der Glaube an (
hervorragenden Eigenschaften der Gönner, den jene Widmung
so ziemlich in Mißachtung gebracht haben, bald wieder Leb
bekommen. Ich aber kann es mir ersparen, zu diesem Zwec
die übrigen Tugenden Ew. hochwürdigsten und durchlau(
tigsten Hoheit (wie es in Widmungen üblich ist) aufzuzähl(
da ich mir sonst den Tadel: »Schuster bleib bei deinem Leiste
zuziehen würde.

Im übrigen genügt es wohl, wenn ich den Leser dar
aufmerksam mache, daß mein Buch von einem solchen Fürs
gut geheißen und ins Leben gerufen wurde. Und so empfe
ich mich denn Ew. hochwürdigsten und durchlauchtigsten H
heit ganz gehorsamst.

[V] Am 1. Januar des Jahres 1611.

Möge Ew. hochwürdigste und durchlauchtigste Hoheit d
selbe in glücklicher Regierung und bei guter Gesundheit v
leben. Dies erfleht

Ew. hochwürdigsten und durchlauchtigsten Hoheit
ehrfurchtvollster

Johannes Kepler,
Mathematiker Sr. kaiserl. Majes

Die Klammern des Originals sind rund ( ), die Zusätze des Üb
setzers in eckigen Klammern [ ].
Die Seitenzahlen des Originals sind ebenfalls in eckigen Klammern

[1]

Dioptrik

oder

Darstellung der Wirkungen geschliffener Gläser oder durchsichtiger Kristalle auf das Sehen und die sichtbaren Gegenstände.

I. Definition. Die Neigung zu einer Fläche wird bestimmt durch den Winkel zwischen einem zur Fläche senkrechten und irgend einem anderen Strahl, der den senkrechten im Punkte der Oberfläche schneidet.

II. Optischer Grundsatz. Strahlen, die in ein dichteres Medium eintreten, werden mit einer Neigung gebrochen und nähern sich nach der Brechung innerhalb des Körpers der Senkrechten, die auf der Grenzfläche im Einfallspunkte errichtet ist. Dieselben Strahlen werden bei ihrem Austritt aus dem dichteren Medium ebenfalls gebrochen und entfernen sich nach der Brechung außerhalb des Mediums von dieser Senkrechten.

III. Optischer Grundsatz. Die Brechung bleibt dieselbe, ob nun die Strahlen ein- oder austreten, wie man es sich gerade vorstellen will.

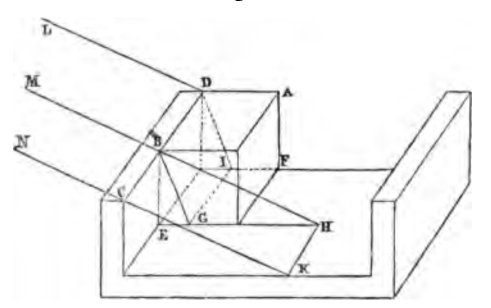
IV. Aufgabe. Es sollen die Brechungen an einem festen durchsichtigen Körper bei beliebiger Neigung der Strahlen künstlich gemessen werden.

AE [Fig. 1] sei ein fester durchsichtiger Körper. Er sei begrenzt durch eine vollkommen plane Oberfläche *DE* und durch zwei andere plane Oberflächen *BA* und *EF*, die zur ersteren rechtwinklig und unter sich parallel sein sollen. Passend zu diesem mache man einen Behälter aus irgend einem Stoff, z. B. aus Holz, dessen Flächen, besonders die inneren, ut geebnet sein müssen.

[2] Zwei Seitenwände erheben sich rechtwinklig vom Boden I, so daß *BEH* und auch die anderen Winkel rechte sind.

In diesen Behälter werde der durchsichtige Körper so geleg daß er den einen hohlen rechten Winkel völlig ausfülle. Sei wärts rage jedoch der etwas größere Behälter über den durcl sichtigen Körper um das Stückchen *BC* hinaus; in der Höl *BE* aber seien sie völlig gleich, so daß die Oberfläche des durchsichtigen und undurchsichtigen ineinander übergehe Nachdem die beiden Körper dergestalt vereinigt sind, werd die Seite *DC*, deren Teil *DB* beiden Körpern gemeinscnaftlic ist, lotrecht den Strahlen der Sonne ausgesetzt, wie auc immer dabei die Neigung der Fläche *BA* zu den Sonner strahlen sein möge.

Fig. 1.



LD, *MB*, *NC* seien Sonnenstrahlen. Alle Strahlen, die si zwischen *MB* und *NC* befinden, werden ungebrochen über *E* hinaus in *H* und *K* eintreffen, da sie außer der Luft auf kein durchsichtigen Körper stoßen. Daher wird *CB* den Schatt *KH* auf den Grund des Behälters werfen, unter Umständ vielleicht auch auf dessen gegenüberstehende Seitenwand.

Aus diesem Verhältnis der Höhe *BE* zu dem Schatten *F* ergibt sich die Neigung der Sonnenstrahlen zu der Senkrecht auf der Ebene *BA*. Denn wie *BE* zu *EH*, so verhält si der sinus totus zur Tangente der Entfernung der Sonne v der Senkrechten der Fläche *BA*, d. i. des Winkels *EBH*

Hingegen werden die zwischen *MB* und *LD* einfallend Strahlen in die dichtere, durchsichtige Oberfläche *BA* eintre und innerhalb dieser dem Lote *BE* zugebrochen werden. wird *MB* nach *BG* und *LD* nach *DI* gebrochen werd Und *BD* wird durch den Kristall hindurch den kürzeren Schat *GI* werfen. Es wird aber möglich sein, mit den Augen

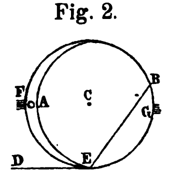
Größe festzustellen, wenn der Grund des Behälters vorher mit Tinte in bestimmte Teile geteilt war. Denn der Körper, welcher den Grund bedeckt, ist ja durchsichtig.

Nun verhält sich wieder die Höhe *BE* zu dem Schatten *EG* wie der sinus totus zur Tangente des Winkels *EBG*[4]). Zieht man aber den jetzt gefundenen Winkel *EBG* von dem vorher gefundenen *EBH* ab, so bleibt *GBH* als Maß des Brechungswinkels bei dieser Neigung *EBH* übrig.

V. Aufgabe. Die Brechungen bei größeren Neigungen und ebenso auch die bisherigen, auf eine andere Weise bequemer zu ermitteln.

[3] Aus einer durchsichtigen, hinreichend dicken, etwa halbzölligen Scheibe [Fig. 2] werde ein zylindrischer Körper hergestellt. Dieser sei *AG*; seine Dicke *FA*. Die Scheibe werde durchbohrt in der Richtung des Kreisdurchmessers, so daß das lange Bohrloch *FA* durch das Zentrum *C* hindurch in *G* austrete. Oder man befestige statt dessen ein Lineal an dem Zylinder in der Richtung *ACG* mit gleich hohen Visieren in *A* und *G*. Der ringförmige Rand wird in 360 Teile geteilt, angefangen bei *E*, so daß *AE* ein Quadrant ist. Das Bohrloch oder das Visier *AG* wird in die Sonne gebracht, so daß das Licht der Sonne, welches bei *A* eingetreten ist, über *G* hinaus auf einer gegenüberliegenden Stelle oder Wand sichtbar ist. Da nun der ganze Halbkreis, dessen beide Quadranten in *A* zusammenstoßen, gleichzeitig erhellt wird, so ist es klar, daß die Tangente, die die Oberfläche des Zylinders in *E* berührt, und die *DE* genannt werde, parallel zu *AG* ist und so auch von der Sonne herkommt, als äußerster aller der Strahlen, die auf den Halbkreis des Zylinders auffallen.

Fig. 2.



Man führe nun einen undurchsichtigen Griffel über die Oberfläche des Zylinders von *AF* bis nach *E* und beobachte, wohin sein Schatten an dem gegenüberliegenden Rande, um die Gegend von *GB* herum, fällt. Es mag z. B., wenn der Griffel in *E* angesetzt wird, der Schatten nach *B* fallen. Die Hälfte des Bogens von *EB* mißt also den Refraktionswinkel des Strahles *DE*, der die höchste Deklination vom Scheitel hat, weil er ja die zylindrische Oberfläche des Kristalles in *E* tangiert[5]).

VI. Grundsatz. Die Refraktion von Bergkristall und Glas ist annähernd gleich.

VII. Grundsatz. Die Refraktionswinkel des Kristalles verhalten sich bis zum 30. [Grade] der Neigung ebenso wie die Neigungswinkel selbst[6]).

VIII. Grundsatz. Der Refraktionswinkel ist beim Kristall bis zu der besagten Grenze nahezu der dritte Teil der Neigung in der Luft[7]).

[4] IX. Grundsatz. Am Kristall beträgt die höchste Refraktion ungefähr 48°[8]).

X. Optischer Grundsatz. Die Neigung verursacht die Refraktion, und gleiche Neigungen der Strahlen in demselben Medium bringen gleiche Refraktionen oder Refraktionswinkel hervor; je größer die Neigung, desto größer die Refraktion; gar keine Neigung bewirkt auch keine Refraktion, d. h. ein lotrecchter [Strahl] wird nicht gebrochen.

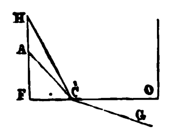
XI. Optischer Grundsatz. Strahlen, die von verschiedenen leuchtenden Punkten ausgehen und auf denselben Punkt einer dichteren Oberfläche auffallen, schneiden sich wechselseitig, aber die Reihenfolge ist nach der Brechung umgekehrt; genau so, wie wenn sich die Strahlen ohne Brechung geschnitten hätten.

XII. Lehrsatz. Genau gemessene Refraktionen sind nicht den Neigungen in der Luft proportional[9]).

Denn nach VIII beträgt die Refraktion 10° bei einer Neigung von 30°, also ein Drittel. Nach demselben Maße müßte zu einer Neigung von 90° eine Refraktion von 30° gehören; das Experiment ergibt aber nach IX 48°.

XIII. Lehrsatz. Ein Strahl, der innerhalb eines Kristallkörpers auf dessen Oberfläche auffällt und um mehr als 42° von dem Lote zu ihr abweicht, wird jene Oberfläche nicht durchdringen können.

Fig. 3.



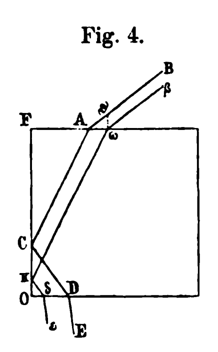
In der Figur 3 sei AC ein Kristallkörper mit der planen Oberfläche FCO. Zu ihr sei AC mehr als 42° geneigt, so wird FCA weniger als 48° betragen; wenn nun Strahl AC in die Luft gelangt, so wird er sich entweder der Oberfläche in CO anschmiegen oder nicht, dann aber sich über dieselbe erheben, etwa wie CG. [5] Beides ist aber unmöglich

Denn nach IX ist die Refraktion der Tangente CO 48°, folglich CH der zu OC gehörende gebrochene Strahl und mehr nach innen gelegen als CA, da FCA kleiner als 48° angenommen wird. Weil also OC gebrochen wird in CH, nicht in CA, so wird auch AC nicht in CO gebrochen werden (nach III). Aber auch GC wird nicht in CA gebrochen. Denn nach XI. schneiden sich GC und OC, weil sie nach demselben Punkt C kommen, und da GC oberhalb OC liegt, so muß der zu GC gehörige gebrochene Strahl unterhalb des zu OC gehörigen Strahles CK fallen und nicht oberhalb CA. AC kann also nicht über C hinausgehen.

XIV. Aufgabe. Schatten in der Richtung gegen die Sonne zu werfen.

Dies leistet ein Kristallwürfel. FO [Fig. 4] sei ein Würfel, und $B\beta$ die Sonne; $A\omega$ ein Körperchen auf der Oberfläche FA des Würfels. Die Strahlen BA und $\beta\omega$, welche den Schatten bilden, indem sie außen vorbeigehen, werden nach AC und ωK gebrochen. Nach IX müssen sich CA und $K\omega$ notwendigerweise mehr als 48° über die Punkte der Oberfläche $A\omega$ erheben. Da nun der Winkel des Würfels AFC ein Rechter ist, so wird auch CAF mehr als 48° betragen; es wird FCA kleiner als 42° sein, AC und $K\omega$ werden also mehr als 48° und deshalb auch mehr als 42° zum Scheitel der Oberfläche CF geneigt sein. Aus diesem Grunde (nach VIII) können AC und ωK die Fläche FC nicht durchdringen. Sie werden deshalb nach optischen Grundsätzen total reflektiert werden nach der Oberfläche OD unter den gleichen Winkeln ACF, DCO. Und weil COD als Würfelwinkel ein Rechter ist, und DCO gleich ACF) kleiner als 42°, so muß CDO größer als 48° sein; er ist also weniger als 42° zum Scheitel der Oberfläche DO geneigt und kann deshalb austreten nach E; ebenso $K\delta$ nach ε. Und auf diese Weise fällt der Schatten von $A\omega$ nach $E\varepsilon$ in entgegengesetzte Lage und kommt der Sonne näher als $A\omega$, wenn DE, $\delta\varepsilon$ genügend verlängert werden.

Fig. 4.

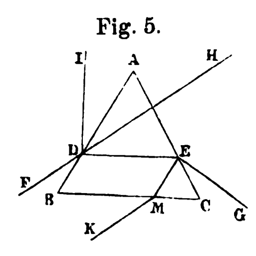


[6] Auf dieselbe Art läßt sich nachweisen, daß ein in ω angebrachter kleiner Turm $\omega\vartheta$ die Spitze seines Schattens E gegen die Sonne richten würde.

XV. Lehrsatz. Strahlen können ein Glas- oder Kristallprisma durchdringen, dessen Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck bildet.

ABC [Fig. 5] sei ein gleichseitiger Schnitt innerhalb des Prismas. Man ziehe zu BC die Parallele DE, welche einen Strahl vorstelle. Ich behaupte, ihm stehe der Austritt auf beiden Seiten, sowohl in D als in E nach der Luft offen. Es ist nämlich ABC und deshalb auch ADE 60°. Das Komplement hiervon oder der Winkel zwischen dem Lot in D [auf DE] zur Oberfläche DA ist 30°, also weniger als 42°. Es wird mithin ED in DF austreten. Gegenüber wird ebenso DE in EG austreten.

Fig. 5.



XVI. Sinnenfälliger Grundsatz. Bei einer solchen Größe der Brechung erscheinen die Regenbogenfarben in herrlichster Weise, gleichgültig, ob nun das Auge hindurchsieht, oder die Sonne hindurchleuchtet.

XVII. [Lehrsatz.] Wenn die Sonne ein Prisma bescheint, so entspringen drei Arten von Strahlen: unveränderte Strahlen, Strahlen von der Farbe des betreffenden Glases und regenbogenfarbige Strahlen.

Es sei nämlich F die Sonne [vgl. vorige Fig. 5]. Sie strahlt nach D. Hier wird nun gewissermaßen das Ganze des Sonnenstrahls geteilt und zu einem sehr kleinen Teil nach DI reflektiert unter dem Winkel ADI, welcher gleich ist dem Winkel BDF, unter welchem der Strahl auffiel. Also einen ungefärbten, allerdings aber nur schwachen Strahl wirft sie über D nach I. Ungefärbt ist er, weil er vom Glase nicht gefärbt ist, in dessen Substanz er nicht eindringt.

Der größere Teil des ganzen Strahls FD dringt bei D ein und wird nach DE gebrochen. In E wird der Rest aber wiederum geteilt. [7] Der größere Teil überschreitet E und wirft infolge der beide Male gleich starken Brechung die Regenbogenfarben nach G.

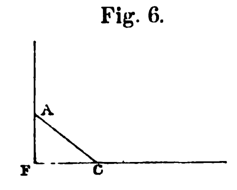
Ein ganz kleiner Rest von DE wird zurückgeworfen von der Oberfläche AC nach EM; fällt Strahl DE etwas schiefer auf AE auf, so wird er auch schiefer nach EM gebrochen als hier. Denn wenn man DEA kleiner macht, so muß auch MEC kleiner werden nach den Gesetzen der Reflexion. Und

so würde schließlich EM rechtwinklig auf BC auffallen und deshalb gar nicht in M gebrochen werden. Wenn aber FD unter dieser Annahme zweimal durch den Körper des Glases gegangen wäre, nämlich einmal als DE und das andere Mal als EM, würde es auf geradem Wege, bei M austretend, einen Strahl von der Farbe des Glases nach K werfen, d. h. aus der A gegenüberliegenden Fläche. Denn die Optik lehrt uns, daß weiße Strahlen in farbigen Medien gefärbt werden.

XVIII. Lehrsatz. Wäre der Winkel des Körpers ein rechter, so würden, wenn man den Körper zwischen das Auge und einen leuchtenden Punkt bringt, die von letzterem kommenden Strahlen nicht ins Auge gelangen; sondern die Oberfläche, die dem leuchtenden Punkt gegenüberliegt, würde dunkel und von der Farbe des Körpers erschienen.

Es sei CA [Fig. 6] ein Strahl innerhalb des Körpers. Er wird zu den Flächen FC, EA entweder gleiche oder ungleiche Neigung haben. Ist sie gleich, so wird sie mehr als 42°. betragen, nämlich 45°, und der Strahl kann also weder die eine, noch die andere durchsetzen (nach XIII.); ist sie aber ungleich, so kann er (nach XIII) durch die eine von ihnen nicht hindurch. Es kann also kein Strahl die beiden Flächen, welche den rechten Winkel eines Körpers begrenzen, gleichzeitig durchdringen.

Fig. 6.



XIX. Optischer Grundsatz. Der Ort des Gegenstandes wird immer in die Richtung verlegt, die der Strahl bei seinem Eintritt ins Auge hatte, was auch immer auf dem Wege von dem Gegenstande zum Auge an der ursprünglichen Richtung durch Brechung für Veränderungen erfolgen mögen, da das Auge nicht wahrzunehmen vermag, was den Strahlen durch das Dazwischentreten von Medien geschieht, sondern so urteilt, als liefen sie immer nur in der letzten Richtung.

[8] XX. Lehrsatz. Durch ein Prisma mit nach oben gerichtetem Winkel erscheint alles gegenüberliegende oben, mit nach unten gerichtetem Winkel unten, mit nach rechts gerichtetem rechts, und nach links gerichtetem links zu liegen.

Betrachten wir wieder die Figur 5, wo *A* oben und *F* das Auge sei. Dann wird also *FD* nach *DE* gelangen und in *D* 20° (nach XV) vom Wege *DH* abgelenkt. Ferner wird *DE* nach *EG* gelangen und wieder 20° vom Wege *DE*, also 40° vom Wege *FDH* abgelenkt werden, was fast die Hälfte eines rechten Winkels ausmacht. Und doch wird das Auge in *F* alles, was unten bei *G* liegt, oben bei *N* zu sehen glauben (nach XIX).

Soviel über ebene Kristalle. Jetzt über gekrümmte Flächen. Zuerst über das Licht.

XXI. Definition. Die Bewegung des Lichts nach einem Ort hin wird lateinisch durch das Wort *vergere*, gerichtet sein, bezeichnet. Konvergent heißen Strahlen, die im Fortschreiten von ihrem Ursprung sich immer mehr einander nähern. Divergent, wenn sie vom Ursprung sich fortbewegend, mehr und mehr auseinander weichen. Also werden konvergente Strahlen, nachdem sie sich geschnitten haben, von da ab divergent.

XXII. Definition. Leuchtende Punkte nennt man weit entfernt, wenn ihr Abstand so groß ist, daß der Durchmesser der Pupille dagegen verschwindend klein ist: man nennt sie nahe, wenn das Verhältnis des Pupillendurchmessers zu ihrem Abstande eine merkliche Größe hat.

[9] XXIII. Postulat. Jeder entfernte Punkt eines sichtbaren Körpers sendet zwar Strahlen nach allen Seiten aus, in Ansehung des Auges oder eines optischen Glases aber, deren Durchmesser verschwindend klein zu der Entfernung ist, kann man die äußersten, das Auge oder das Glas streifenden Strahlen als parallel betrachten. Von ihnen kann nur einer senkrecht zu der entgegenstehenden gekrümmten Fläche sein.

XXIV. Definition. Strahlen, die von einem Punkte eines nahen Gegenstandes ausgehen, divergieren daher gegen die Pupille des Auges. Von verschiedenen Punkten irgend eines Gegenstandes ausgehende Strahlen sind immer konvergent in bezug auf das Zentrum des Sehens. Dies gilt aber nur für den Fall, daß die Strahlung ungehindert vor sich geht. Man muß also jedesmal wohl unterscheiden, ob es sich um

Strahlen eines Punktes oder um Strahlen mehrerer Punkte handelt.

CD, *CA* und *CE* [Fig. 7] divergieren gegen das Auge *DE*; ebenso *BD*, *BA* und *BE*, sowie alle mittleren; aber *BA* und *CA* konvergieren gegen das Augenzentrum *A*.

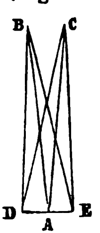


Fig. 7.

Über die Linse.

XXV. Definition. Eine Linse ist ein Glas oder Kristall von der Form einer kreisförmigen Scheibe, deren Durchmesser größer ist als die Dicke.

XXVI. [Definition.] Konvex ist eine Linse, die entweder beiderseits eine konvexe Oberfläche hat oder nur auf einer Seite konvex, auf der anderen plan ist. Dasselbe gilt von der konkaven Linse. Beide mögen zusammenfassend als reine [d. h. ungemischte] bezeichnet werden.

XXVII. [Definition.] Gemischt heißen solche, die auf einer Seite konvex, auf der anderen konkav, aber auf beiden Seiten vollkommen kreisförmig [kuglig] sind. Diese sind den reinen [ungemischten] entgegengesetzt.

[10] XXVIII. [Defintion.] Ein »Konvexes«, »Konkaves« oder »Gemischtes« schlechtweg soll im folgenden gleichbedeutend sein mit einer Konvexlinse, Konkavlinse oder gemischten Linse[10]).

XXIX. [Definition.] Die Größe der Linse ist etwas andres als die Größe ihrer Konvexität oder Konkavität. Jene bezieht sich auf die äußere Größe, diese auf die mathematische Begrenzung der Oberflächen.

XXX. [Definition.] Die Größe des Linsenkörpers selbst hat eine doppelte Bedeutung. Entweder ist sie absolut, wenn man die Umfänge der Linsen oder Scheiben ins Auge faßt und miteinander vergleicht; oder sie bezieht sich auf den Kreisbogen der Konvexität und vergleicht den Umfang der Linse mit ihrer Konvexität.

XXXI. [Definition.] Ein Konvex- oder ein Konkavglas »von großem oder kleinem Kreise (oder auch: eines großen oder kleinen Kreises)« bezieht sich daher

nicht auf den Umfang des Körpers, sondern auf sein Oberflächen und ihre mathematische Begrenzung.

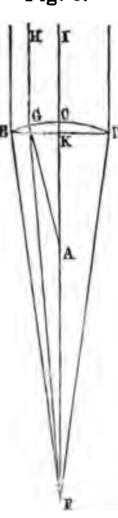
XXXII. [Definition.] Groß ist die Konvexität ode Konkavität bei kleinem Kreise, klein bei großem[11]

XXXIII. Postulat. Die Mittelpunkte der Krei einer konvexen, konkaven oder gemischten Lin müssen auf einer geraden Linie liegen, welche dur den Mittelpunkt der Linse hindurchgeht.

Der Brennpunkt der Linse[12].

XXXIV. Lehrsatz. Wenn von einem Punkte a parallele Strahlen auf eine lotrecht entgegenstehen Konvexlinse fallen, deren Öffnung unter 30° ist, u wenn diese Strahlen außer der Brechung beim Ei tritt keine weitere Richtungsänderung erfahren, da bleibt nur der Strahl ungebrochen, der durch (Mitte des Glases geht, weil er senkrecht auf (Fläche auftrifft, während alle ande gebrochen werden und sich nach Brechung mit dem senkrechten verein gen, in einer Entfernung von ungefä anderthalb Durchmessern der Kugel.


Fig. 8.



[11] Wir nehmen einen ferngelegenen Pun an, der den Teil BD [Fig. 8] einer Kristal kugel bestrahlen möge. Und zwar sei der Bog BCD kleiner als 30°. Dann wird die Strahlun parallel sein (nach XXIII). Von diesen Strahl sei allein IC lotrecht, als der durch d Zentrum A hindurchgehende.

Wir betrachten außer dem senkrechten Stra IC irgend einen anderen von den in der Li parallelen Strahlen, z. B. HG. Da nun H schief auffällt auf die Oberfläche BGC, wird er (nach II) dem Lote im Einfallspunkte welches GA sei, zugebrochen werden, so d IC und HG hinter G nicht mehr parallel sin Sie werden sich also schneiden.

Der Schnittpunkt befinde sich in F, und H werde nach GF gebrochen. Denn es wird angenommen, daß dem Strahl HG hinter G nichts wei widerfährt. Ich behaupte, AF sei das Doppelte von CA u

mithin der Durchmesser der Kugel BCD. Denn der Neigungswinkel vom Strahl HG, welcher parallel zu der Senkrechten IC ist, hat die Größe des Winkels GAC. Wäre nun die Brechung gleich der Neigung, dann würde HG nach GA, nämlich dem Zentrum selbst, gebrochen. Da aber die Brechung nicht gleich der Neigung ist, also auch nicht $^3/_3$ derselben, sondern nur $^1/_3$, nach VIII, so erhält der gebrochene Strahl GF gegen GA eine Abweichung, die $^2/_3$ der Neigung von GAC beträgt. Es ist also FGA $^2/_3$ von GAC; $AGF + AFG$ sind $= GAC$. Daher ist GFA $^1/_3$ von GAC und die Hälfte von FGA. Es verhält sich aber nach der Lehre von den Dreiecken $GA : AF$ wie der Sinus von $^1/_2\, GFA$ zum Sinus von $2\, FGA$. Die Sinus von Winkeln unter 15^0 sind nahezu verhältnisgleich den Winkeln und Bögen selbst. Sie sind also fast im Verhältnis von $1:2$. Deshalb verhält sich auch GA oder CA zu AF wie $1:2$ oder wie der Halbmesser zum Durchmesser, und so ist CF ungefähr anderthalb Durchmesser[13]).

[**12**] XXXV. Lehrsatz. Wenn die Strahlen in einen konvexen Körper parallel eingedrungen sind, so werden sie sich hinter der Konvexität mit dem Lot schneiden in einer Entferung, die ungefähr die Länge des Durchmessers der Konvexität beträgt, vorausgesetzt, daß die Öffnung weniger als 30^0 beträgt.

Fig. 9.

Es sei PQR [Fig. 9] ein Kristallkörper, begrenzt durch die konvexe Fläche PQR; und durch diesen Körper sollen einige parallele Strahlen hindurchgehen, deren mittelster und senkrechter OQ sei. Von den übrigen sei einer TR. Ich behaupte nun erstens, TR werde nach außen in RS gebrochen, unter einem Brechungswinkel, der um die Hälfte kleiner als der Neigungswinkel ist; z. B. SRX und TRO sind die Neigungen der Strahlen SR und TR; daher hat TRO zwei Teile des Maßes, von welchem SRX drei hat. Denn der Refraktionswinkel ist der dritte Teil der Neigung (nach VIII). Wie also SR beim Eintritt nach RT gebrochen wird, so wird auch RT beim Austritt nach SR gebrochen werden (nach III). Die

Hälfte der Neigung TRO ist mithin die Refraktion von TR selbst, da es aus dem Dichten austritt. Ich behaupte außerdem RS schneide OQ ungefähr in der Entfernung eines richtigen Durchmessers des Kreises PQR. Denn RSO ist die Größe der Refraktion und gerade die Hälfte von TRO oder ROS, ein Drittel von XRS. Es verhält sich aber $OS : OR$ wie der Sinus des Winkels XRS zum Sinus des Winkels RSO. Aber die Sinus von so kleinen Winkeln verhalten sich nahezu wie die Bögen. Daher ist der Sinus XRS nahezu das Dreifache vom Sinus RSO. Deshalb ist auch OS dreimal so groß als OR oder OQ. Da also OQ der Halbmesser ist, so wird QS ungefähr so groß wie der Durchmesser sein.

XXXVI. Lehrsatz. Wenn Strahlen innerhalb eines dichten Mediums nicht parallel, sondern konvergent nach der konvexen Grenzfläche gerichtet sind, so schneiden sie sich in einem Punkte, dessen Entfernung von der Linse kleiner ist als der Durchmesser der Konvexität.

[13] Es mögen nämlich OQ und LN nach QN zu konvergieren. Die zu QO Parallele NZ, sei gebrochen nach NS. Es schneiden sich mithin gegenseitig LN und ZN. Folglich wird der zu LN gehörige, gebrochene Strahl mehr nach innen liegen als NS, weil LN außerhalb ZN liegt (nach XI). Er schneidet QS also oberhalb S, z. B. in M. Und QM ist kürzer als der Durchmesser.

XXXVII. Lehrsatz. Befindet sich der leuchtende Punkt näher an der Konvexität als die Größe ihres Durchmessers, so werden die Strahlen dieses Punktes nach der Brechung innerhalb des dichten Körpers nicht parallel, sondern divergent sein.

Denn wenn QS der Durchmesser der Konvexität ist, so sei M ein leuchtender Punkt näher an der Linse als S, und die Strahlen MN, MQ divergent. Daher divergieren auch deren zugehörige, gebrochene Strahlen NL, QO nach LO hin, wie im vorhergehenden Lehrsatz (nach XI), wenn sie auch in Wahrheit etwas weniger divergieren.

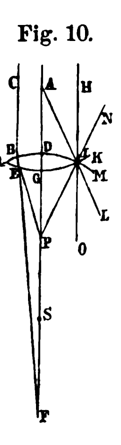
Bis hierher hatten wir ausschließlich von einer einzigen konvexen Oberfläche der Linse gehandelt, nun gehen wir zur ganzen Linse über.

XXXVIII. Lehrsatz. Strahlen, welche von einem leuchtenden Punkt aus parallel auf eine senkrech

ɔgenstehende, auf beiden Seiten konvexe Kri- - oder Glaslinse fallen, vereinigen sich hinter ,inse in einem Punkt, dessen Entfernung kleiner ls der Durchmesser des Kreises der abgekehrten fläche: und kleiner als anderthalb Durchmesser ugekehrten Fläche[14]).

G [Fig. 10] sei eine beiderseits konvexe Linse, $ADGF$ enkrechte durch die Zentra der konvexen Oberflächen. dem ferngelegenen, strahlenden Punkt ı beliebig viele parallele Strahlen kommen, CB. Während nun AD und CB und ınderen in der Luft nahezu parallel sind XXIII), so konvergieren DG und BE im ıll nach EG (nach XXXIV) und zielen nach F. [14] Daher (nach XXXVI) wird ʾunkt F, indem der zu BE gehörende, ɒhene Strahl EF den Mittelstrahl schnei- näher an G liegen, als die Größe des ımessers der Konvexität GE beträgt, .er sei GS. Ebenso liegt die Sache mit und BE, welche um die Länge von thalb Durchmessern der Konvexität BD ɑinter D geschnitten haben würden (nach :V), wenn sie nämlich keine andere Bre- ; als in B erlitten hätten. Nun mögen .ber zum zweiten Male in E gebrochen ɪn nach der Senkrechten GF hin, weil von ihrem Lote 'unkte E (nach II) ab. Es ist also klar, daß sie schon als die Länge von anderthalb Durchmessern von BD gt, sich schneiden. Dies muß daher getrennt bewiesen ɔn. Denn wenn sie auch in einer kürzeren Entfer- als der Durchmesser DS der Fläche EG beträgt, sich iden, so folgt daraus keineswegs, daß dies auch kürzer ɪls anderthalb Durchmesser DF der Oberfläche BD. jener Durchmesser kann größer sein als diese anderthalb ımesser.

Fig. 10.



XXIX. Lehrsatz. Wenn unter denselben Voraus- ıngen die Konvexität auf beiden Seiten gleiche nmung hat, so fällt der Schnittpunkt hinter die e in einen Punkt, welcher ungefähr um den ımesser der zugekehrten Konvexität entfernt ist, ist in das Zentrum derselben.

Es seien in der Figur 10 BD und EG gleiche Konvex
täten und die Zentra derselben A, P. Die Kreise schneide
sich in I, nachdem GI bis K und DI bis M verlänge
wurden. Durch den Schnittpunkt I werden die Lote AL un
PN aus den Mittelpunkten errichtet. Durch Schnittpunkt
gehe die zu AF parallele HO. Da nun BD und EG i
vorigen Lehrsatz wenig differierten, so wollen wir sie al
gleich ansehen und an ihre Stelle die wirklich gleichen Stück
DI und GI setzen. [15] Weil nun HI zu DIM geneigt ist
indem es zu dem Lot IN um den Winkel HIN geneigt ist
welchem gleich ist OIP oder IPD, so wird der zu HI zu
gehörige gebrochene Strahl innerhalb der Konvexität abgelenk
werden von OI nach IP um den dritten Teil von OIP (nach
VIII). Aber LIO ist gleich NIH, weil AI, IP gleich sind,
und HIO zu AP parallel ist. Gebrochen in einen dichtere
Körper eintretend, wird er auf die abgewendete Oberfläch
desselben KIG (deren Lot in I, AL ist) unter einem Wink
auffallen, welcher $^1/_3$ größer ist als LIO. Es hat also jen
in den Kristall gebrochene Strahl vier Dritteile der Neigung a
der abgewendeten Fläche. Beim Austritt in die freie Luft in
muß er eine um die Hälfte größere Neigung in der Luft er
halten, denn ein Strahl, der aus jener Luft geneigt auffäll
auf eine konvexe Linse, verliert innerhalb des Körpers de
dritten Teil seiner Neigung (nach VIII). Infolgedessen h
jener geneigte Strahl jenseits der Linse in der Luft sech
Teile von der Art, von welcher der Winkel NIH oder LI
drei Teile hat. Der Winkel dieser Neigung ist also dopp
so groß wie der Winkel LIO. Aber LIP ist ebenfalls dop
pelt so groß als LIO, weil LIO und OIP gleich sind
Daher ist IP der zu HI gehörige gebrochene Strahl, und zwa
zweimal gebrochen, einmal beim Eintritt in Punkt I der Kon
vexität DIM und das zweite Mal beim Austritt im Punkt
der konvexen Fläche GIK. Deshalb ist P das Zentrum de
zugekehrten Konvexität BDI, ursprünglich der Schnittpunk
der Parallelen CB, AD, HI; wenn die Konvexitäten gleic
waren. (Vgl. XXXIV, XXXV, XXXVIII.) Fürs Gedächtni
so: drei Halbmesser hinter der zugekehrten Konvexi-
tät, zwei hinter der abgekehrten, einen hinter bei-
den[13. 14]).

XL. Zusatz. Hieraus geht hervor, daß bei un-
gleichen Konvexitäten der Schnittpunkt hinter de
Linse in einer Entfernung liegen werde, welch

wischen den Halbmessern der beiden Konvexitäten
hwankt. Nämlich größer als der Halbmesser der
leineren, weil die andere Oberfläche dem größeren
reise gehört; hätte sie einem gleichen angehört, so
äre dessen Halbmesser das Maß in diesem Inter-
all gewesen. Kleiner dagegen als der Durchmesser
es kleineren, da ja die Oberfläche des kleineren
ieht die einzige ist. Kleiner endlich als der Halb-
esser der größeren [Konvexität]: denn wenn der
reis der kleineren Oberfläche ebenso groß gewesen
äre, dann wäre es erst das Maß des größeren Halb-
essers in diesem Intervall gewesen; nun ist dieser
ber nicht gleich, sondern kleiner.

[16] XLI. Lehrsatz. Strahlen, die von einem fer-
en Punkt eines sichtbaren Gegenstandes kommen,
hneiden sich am nächsten an der Linse, während der
hnittpunkt der Strahlen eines näher gelegenen
unktes weiter absteht.

Denn nach XXXIV, XXXV, XXXVIII ist in den drei zu-
hörigen Figuren der Schnittpunkt für einen unendlich weit
stehenden Punkt *F*, *S* oder *P*. Umgekehrt ist es, wenn
r leuchtende Punkt an den Gegenstand heranrückt, so daß
r aus dem entfernten ein naher wird; und rückt er gar in
, *S* oder *P*, so flieht der Schnittpunkt ins Unendliche (nach
n obigen und nach III). Wenn aber die Grenzfälle gegeben
nd, sind es auch die Zwischenstufen, so daß, wenn der
unkt sich jenseits von *F*, *S* oder *P* befindet, der Schnitt-
nkt der Strahlen innerhalb des Unendlichen fällt, daß er
dessen fern ist, solange der sichtbare Gegenstand sich sehr
he befindet, und umgekehrt, wenn der sichtbare Gegenstand
die Ferne rückt, so nähert sich in dem Grade der Schnitt-
nkt bis zu *F*, *S* oder *P* selbst: und endlich (XXXVIII),
enn die Linse auf beiden Seiten konvex ist, und der leuch-
nde Punkt den Abstand des Durchmessers von der Linse
at, so liegt auch der Schnittpunkt in der Entfernung des
urchmessers, während die Strahlen innerhalb der Linse
parallel sind[15].

Die Wirkungen der Linse an sich.

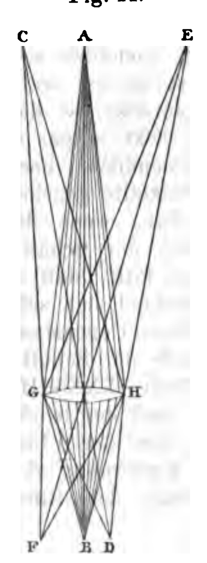
XLII. Definition. Da jedwede Konvexlinse die
Strahlen eines leuchtenden Punktes nach einem

bestimmten Punkt zwingt, welcher weiter vom Zentrum absteht, wenn der leuchtende Punkt nahe, als wenn er fern ist (nach XLI): so wollen wir unter Brennpunkt schlechtweg ohne jeden Zusatz denjenigen Punkt verstehen, zu welchem gezwungen werden, und in welchem sich schneiden die Strahlen eines sehr fernen Punktes, also parallele Strahlen[12]).

XLIII. Aufgabe. Sichtbare Gegenstände sollen mittels einer Konvexlinse auf einer weißen Wand abgebildet werden.

Das einzige Fensterchen einer dunklen Kammer sei durch eine Konvexlinse eingenommen. Im Vereinigungspunkt werde ein Papier aufgestellt. Denn ein Punkt eines sichtbaren Gegenstandes wird auf dem Papier mit allen Strahlen, welche er gegen die Linse sendet, wieder ungefähr in einem Punkte zusammengezogen. Die sichtbaren Gegenstände bestehen aber aus unendlich vielen Punkten. [17] Es werden also unzählige solche Punkte auf dem Papier abgebildet, d. h. die gesamte Oberfläche des sichtbaren Gegenstandes.

Fig. 11.



XLIV. Lehrsatz. Das durch die Linse erzeugte Bild ist umgekehrt.

Denn die Linse ist die Basis, auf der beiderseits die beiden Strahlenkegel stehen, von denen der eine seinen Scheitel in einem Punkte des Gegenstandes, der andere in einem Punkte des Bildes auf dem Papier hat[16]).

XLV. Definition. Solch ein Zweigespann wollen wir im folgenden ein Strahlenbündel nennen.

Die Bündel aller Punkte laufen in der Linse wie in einer gemeinschaftlichen Basis der Kegel zusammen und fahren nach Durchsetzung der Linse wieder auseinander; dabei gelangen sie nach entgegengesetzten Richtungen. In der Figur 11 sind drei Bündel AB, CD und EF, welche in der Konvexlinse GH, wie in einer gemeinschaftlichen Basis zusammenlaufen.

XLVI. Lehrsatz. Wie sich der Durchmesser des Bildes zu dessen Abstand von der Linse verhält, so verhält sich auch ungefähr der Durchmesser des Gegenstandes zu dessen Abstand von der Linse. Denn die Achsen der Bündel (die Geraden, welche gezogen sind von einem Punkt des Gegenstandes zu dem entsprechenden des Bildes) schneiden sich alle gegenseitig nahezu in einem Punkt, welcher dicht an dem Zentrum der Linse liegt. [18] Daher gehören zu gleichen Winkeln an der Spitze (Euclid I, 15) auch Grundlinien, die proportional beiden Schenkeln sind Euclid VI, 4).

XLVII. Aufgabe. Den Halbmesser der Konvexität urch ein abgekürztes Verfahren zu finden, wenn ie Linse beiderseits gleiche Konvexität hat.

Man bringe das Papier in diejenige Entfernung, in der ich ferne Gegenstände am deutlichsten abbilden. Dann (nach XLIII) wird das Papier sich im Brennpunkt befinden; deshalb wird es um den Halbmesser der Konvexität von der Linse bstehen.

XLVIII. Aufgabe. Dasselbe zu finden, wenn die Linse auf der einen Seite konvex, auf der anderen plan ist.

Kehre die plane Seite der Linse nach dem fernen Gegentand, und zwar senkrecht zu ihm, so daß die Strahlen rechtwinklig auffallen und nicht gebrochen werden. Und das Papier halte dorthin, wo der Gegenstand deutlich abgebildet wird. Es wird sich dann das Papier im Schnittpunkt befinden nach XLIII) und zwar fast genau im Abstand des Durchmessers der Konvexität hinter der Linse (nach XXXV)[17].

XLIX. Aufgabe. Den Durchmesser der Konvexität iner beiderseits gleich konvexen Linse mittels eines nahe gelegenen Gegenstandes zu messen.

Man bringe die Linse genau senkrecht in die Mitte zwischen Papier und Gegenstand und vermehre oder vermindere die Entfernung beider von der Linse immer in gleichem Maße, bis die Abbildung auf dem Papier am deutlichsten wird.

Denn wenn sich der Gegenstand auf dem Papier abbildet, so muß das Papier im Schnittpunkte der vom Punkt des Gegenstandes ausfahrenden Strahlen sich befinden (nach XLIII). Da aber Gegenstand und Papier sich in gleichen Entfernungen von der Linse befinden, so müssen die Strahlen innerhalb des

Linsenkörpers selbst parallel sein. Denn wenn sie nicht parallel wären, so würde kein Teil eines Strahls (außer dem innersten, senkrecht durch die Mitte der Linse gezogenen) in die beiderseitigen Oberflächen unter gleicher Neigung einfallen und also auch nicht gleiche Brechung erlangen (XVIII); er würde deshalb auch nicht auf beiden Seiten der Linse in gleichem Abstand mit dem senkrechten sich schneiden. [19] Da sie mithin innerhalb des Linsenkörpers parallel sind, so muß auch der Schnittpunkt um einen Durchmesser der Linse entfernt sein (XXXV).

L. Aufgabe. Mittels einer beiderseits gleich konvexen Linse Feuer zu machen.

Man halte die Linse senkrecht zu den Sonnenstrahlen und bringe Brennstoff in den Schnittpunkt. Derselbe wird einen Halbmesser der Konvexität entfernt sein, weil die Strahlen vom Mittelpunkt der Sonne parallel sind.

LI. Aufgabe. Dasselbe zu tun mit einer plankonvexen Linse.

Dies geschieht in einer Entfernung hinter der Linse von ungefähr einem Durchmesser der Konvexität (nach XXXV).

LII. Nachts bei Vorhandensein eines hellen Sternes mittels einer Konvexlinse Schrift so zu beleuchten, daß sie gelesen werden kann.

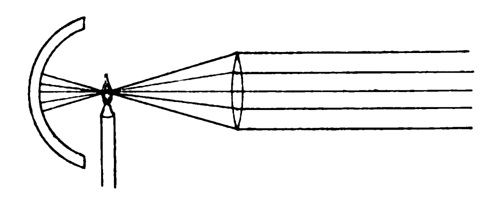
Der Stern muß senkrecht auf die Linse strahlen. Das Papier mit der zu entziffernden Schrift muß hinter der Linse sein. Ist die Linse beiderseits gleich konvex, so muß die Entfernung einen Halbmesser betragen (nach XLIII und XXXIX), ist sie auf einer Seite eben, einen Durchmesser (nach XXXV). Sind aber die Konvexitäten ungleich, so wird die Entfernung größer sein als der Halbmesser der kleineren, aber kleiner als deren Durchmesser.

LIII. Aufgabe. Nachts mit einer Konvexlinse möglichst weit hinaus Licht zu werfen.

Das Licht befinde sich [Fig. 12] hinter der Linse im Schnittpunkt der parallelen Strahlen. Daher werden die Strahlen des Lichts divergent auf die Linse auffallen und nach der Brechung parallel austreten (34, 35, 39, 40). [20] Es empfiehlt sich, das Licht in die Mitte eines Hohlspiegels zu bringen, damit auch die abgewendeten Strahlen in das Licht zurückgebogen werden und durch dasselbe hindurch auf die Linse übergehen. Entfernt man aber das Licht von der Linse, so wird jenes Maximum der Beleuchtung aus dem

Unendlichen näher an die Linse rücken; auf diese Weise kann man den Ort der Beleuchtung ändern und jeden beliebig weit abstehenden Ort erleuchten (XLI).

Fig. 12.



LIV. Aufgabe. Die Entfernung eines sichtbaren Gegenstandes mit einer beiderseits gleichen Konvexlinse von einer einzigen Stelle aus zu messen.

Wird nämlich der sichtbare Gegenstand abgezeichnet in einem Abstand des Papiers von der Linse, welcher größer ist als der Durchmesser der Konvexität, so muß der sichtbare Gegenstand näher sein als der Durchmesser der Konvexität. Denn wenn das Papier einen Durchmesser absteht, so wird auch der Gegenstand einen Durchmesser ab sein (XXXV). Deshalb muß auch, wenn das Papier nur weniger als der Durchmesser entfernt ist, der Gegenstand weiter als einen Durchmesser entfernt sein (XLI). Endlich, wenn das Papier eine vollkommene Abbildung zeigt bei einer Entfernung von einem Halbmesser der bekannten Konvexität, so wird der Gegenstand weit entfernt sein, so daß er mittels der Abbildung nicht mehr gemessen werden kann (XXXIX).

LV. Aufgabe. Dasselbe mit einer konvexen Linse auf eine andere Weise zu leisten, wenn die Größe des sichtbaren Gegenstandes bekannt ist.

Dies geschieht nach XLVI. Denn es verhält sich die bekannte Größe des Gegenstandes zu seiner Entfernung von der Linse, wie die Größe des Bildes zu seinem Abstande von der Linse.

LVI. Anmerkung. J.-Baptiste Porta macht sich anheischig, mittels einer Brennlinse bis ins Unendliche hinein eine Brennwirkung auszuüben. Was er von einem Spiegel behauptet, das, glauben andere, gelte in Wahrheit von einer Konvexlinse. Wem man auch

folgen mag, man wird Unmögliches beginnen. Die optische Wissenschaft steht dem entgegen.

Erstens ist die Brennwirkung eine Folge des Schnittes der Strahlen. Dieser Schnitt ist ein Punkt, keine Linie. Zweitens: wenn die Verbrennung bis ins Unendliche geschähe, dann müßte sie auch schon an der Oberfläche der Linse geschehen, von wo sie ausgeht, wodurch die Linse zerstört würde. Drittens: wenn der Strahl die Fähigkeit zu zünden annimmt, so tut er dies durch Sammlung vieler Strahlen in einen. Dies ist aber unmöglich. [21] Jeder einzelne Strahl fällt nämlich auch auf einen einzelnen Punkt. Aber an jeder Oberfläche erleidet ein einzelner Strahl auch nur eine einzige Brechung, welcher Strahl auch immer durch diesen Punkt hindurchgehen mag. Hinter diesem Punkt befindet sich daher auch immer nur ein einziger Strahl, nicht etwa viele unter sich unabhängige, von verschiedenen Neigungen herrührende, aber durch Brechung zu einem einzigen vereinigte. Doch darüber weiter unten mehr, wo ich konkave mit konvexen Linsen in Verbindung treten lassen werde[18].

Soviel über die Konvexlinse und ihre Anwendungen, abgesehen vom Auge. Und nun über jene Anwendungen, in denen sie zur Verbesserung des Sehens dient. Vorher aber über das Sehen selbst.

LVII. Physikalischer Grundsatz. Die Strahlen, welche durch die Mitten der Pupille und der Augenflüssigkeiten gehen [Sehlinien], sind in der natürlichen Ruhestellung der Augen parallel, sie biegen sich aber freiwillig zusammen bei Betrachtung von näher gelegenen Gegenständen.

LVIII. Definition. Das Sehen ist scharf, wenn die Einzelheiten eines Gegenstandes auf das deutlichste hervortreten und zur Betrachtung gelangen; verschwommen, wenn zwar größere Objekte erkennbar werden, die Einzelheiten aber verborgen bleiben, gewissermaßen unkenntlich und verwischt werden durch ihre gegenseitigen undeutlichen Grenzen. Das Sehen ist kräftig, oder hell, wenn der Gegenstand gleichsam in vielem Lichte erscheint; schwach, oder matt, wenn der Gegenstand in einem schwachen Lichte erscheint, wie z. B. bei einer Sonnenfinsternis oder bei Mondschein.

LIX. Lehrsatz. Die Oberfläche eines dichten Mediums, welche parallel in diesem Körper verlaufende Strahlen bei der Austrittsbrechung vollkommen nach einem Punkte konvergent macht, ist nahezu hyperbolisch.

ABCDEFG [Fig. 13] sei ein Kreisbogen mit dem Mittelpunkt *H*, und die Senkrechte *HD* sei genügend verlängert. Zu ihr parallel sind *RA*, *PB*, *LC*, *KE*, *MF*, *QG*.

Fig. 13.

[**22**] Wenn alle Brechungen der Inzidenz proportional wären, so würden nach der Brechung alle [vorlem] Parallelen nach einem und demselben Punkte konvergieren, z. B. nach *I* (zufolge XXXV). Da sie aber (nach XII) nicht proportional sind, sondern bei großen Neigungen unverhältnismäßig wachsen, so schneiden sich deshalb zwar *LC* und *KE* in *I*, aber die nächstliegenden *PB* und *MF* schneiden sich tiefer in *N* und die äußerst gelegenen *RA* und *QG* noch näher in *O*.

Wenn daher die Punkte *O*, *N*, *I* zusammenfallen sollen in *N*, so müßten die Refraktionen in *AG* geringer, in *CE* größer gemacht werden. Geringer aber wird die Refraktion in *A* und *G* sein, wenn dort die Neigung von *RA* und *QG* zur Oberfläche geringer ist, größer wird sie in *C* und *E* werden, wenn die Neigung von *LC* und *KE* größer ist.

Kleiner wird aber die Neigung *RA* zu *AB*, wenn *AB* mit dem Endpunkt *B* dem Punkt *R* selbst näher rückt. Dies geschieht, wenn wir eine Oberfläche annehmen, die die kreisförmige Oberfläche *ABC* in *A* schneidet, indem sie höher liegt als *ABC*. Wenn diese *BCD* wieder in *C* schneidet, so wird die Neigung von *LC* zu ihr größer sein [als die von *LC* zu dem ursprünglichen Bogen *BC*]. Ebenso auch in *E*, *G*. Es schneidet also die neue Linie die alte in vier Punkten. Dasselbe tut auch die Hyperbel, nicht aber die Ellipse. Denn die Ellipse schneidet einen Kreisbogen, der kleiner als ein Halbkreis ist, nur in zwei Punkten. Die Parabel aber, obwohl sie dasselbe tut, gleicht doch nicht der gesuchten Oberfläche aus folgendem Grunde. Denn sie akkommodiert sich

keinem bestimmten Winkel. Die gesuchte Oberfläche muß sich aber einem bestimmten Winkel akkommodieren, welcher 96° ist. Denn die höchste Refraktion ist 48° und das Doppelte davon 96°: nach IX[19]).

LX. Lehrsatz. Die Kristallfeuchtigkeit des Auges stellt eine konvexe Linse von hyperbolischer Gestalt vor, während die mit geistigem Stoff angefüllte Netzhaut hinter der kristallenen Feuchtigkeit [gleichsam] an Stelle des Papiers steht. Auf ihr bildet sich das Sichtbare mit wirklicher Zeichnung ab. [**23**] Daß die kristallene Feuchtigkeit eine außerordentlich durchsichtige Linse sei, beweist die Erfahrung der Anatomen. Daß ihre Begrenzung auch auf der hinteren Seite hyperbolisch ist, und daß die Netzhaut rund herum oder wie in einem hohlen Bogen von allen Seiten her um das Kristallene in einer bestimmten Entfernung ausgespannt, und daß sie außerdem die weißrötliche Farbe des Papiers habe, bezeugen ebendieselben.

Aus dem Gesagten geht hervor (XLIII), daß eine Abbildung der sichtbaren Dinge auf der Netzhaut zustande kommt, und (LIX) weil es sich um eine annähernd hyperbolische Form handelt, so geschieht dies offenbar zur Erzielung vollkommener und reiner Zuspitzung der Lichtbündel, und es wird hierdurch eine vollkommen scharfe Abbildung erreicht.

LXI. Lehrsatz. Das Sehen ist eine Gefühlstätigkeit der gereizten und mit Sehgeist erfüllten Netzhaut; oder auch: Sehen heißt die Reizung der Netzhaut fühlen, soweit sie gereizt wird.

Die Netzhaut wird bemalt von den farbigen Strahlen der sichtbaren Welt. Diese Bemalung oder Illustrierung ist mit einer nicht bloß oberflächlichen Veränderung der Netzhaut verknüpft, wie etwa die Kreide auf einer Wand entlang fährt, oder das Licht über sie hinhuscht, sondern mit einer qualitativen, in die Substanz und den Sehstoff eindringenden. Dies leite ich aus der Natur des Lichtes her, das, wenn es stark und konzentriert ist, eine Brennwirkung ausübt (L). Besteht nun dasselbe Verhältnis zwischen der äußerst geringen Lichtmenge, die auf die Netzhaut gelangt, und dem außerordentlich fein verteilten geistigen Stoff in der Netzhaut, wie außen in der Luft zwischen dem konzentrierten, brennenden Licht und der dichten Körperlichkeit der brennbaren Stoffe, dann folgt daraus

für die Netzhaut eine ebensolche eindringende Tätigkeit des geringen Lichtquantums und eine Veränderung innerhalb der Netzhaut und des geistigen Stoffes, wie außen eine Brennwirkung des Lichtes (als Ursache) und eine Zerstörung des brennbaren Stoffes (als Wirkung). Ich verweise ferner auf die Erfahrung. Augen, die angestrengt auf ein starkes Licht sehen, werden so sehr beeinflußt, daß sie, auch nachdem sie sich von dem angeschauten Lichtglanz abgewendet haben, dessen Bild zurückbehalten und bisweilen ziemlich lange mit sich herum tragen. Jene Abbildung auf der Netzhaut ist also eine in die Tiefe dringende Veränderung. Aber diese Abbildung schließt noch nicht den ganzen Sehakt ab, sondern ein Bild der so veränderten Netzhaut geht auf ununterbrochenem geistigen Strome in das Gehirn über und wird dort an den Sitz des Seelenvermögens abgeliefert. Dies geschieht folgendermaßen [20]).

[24] Wie jedes äußere Gefühl durch Aufnahme und Eindruck, d. i. Veränderung, vor sich geht, da dem, was fühlt, ein Bild des äußeren Gegenstandes eingedrückt wird — eine Veränderung, die wir Gefühl nennen —, so existiert auch drinnen im Gehirn irgend etwas, was wir Sinneszentrum nennen. Diesem wird ein Abbild des veränderten Sehinstrumentes übermittelt, wie es eben durch die Einwirkung des vom gesehenen Gegenstande ausgehenden Lichtes bemalt wurde. Was also außerhalb des Sitzes des Sinneszentrums an dem Sinneswerkzeug geschieht, das wird als eine Art immateriellen Abbildes von dem affizierten oder bemalten Sinnesinstrument abgelöst, nach dem Sitz des Sinneszentrums hinübergeleitet und diesem gemeinschaftlichen Gefühlssitz eingedrückt. Aber die Art und Weise dieses Eindruckes ist verborgen; auch kann nicht mit Sicherheit behauptet werden, ob dies Abbild auf dem Wege der sich kreuzenden Sehnerven hineingetragen werde. Denn eine andere Bestimmung dieser Nerven scheint einleuchtender, nämlich, daß sie den geistigen Sehstoff aus beiden Hirnhälften jedem Auge zuführen. Sie sind deswegen gekreuzt, damit nicht, wenn der eine Hirnbogen verletzt oder derjenige Nerv verlegt ist, der aus ihm hervorgeht, sogleich auch das andere Auge des Sehstoffes beraubt werde. Da also die Sehnerven offenbar schon diese Bestimmung haben, so ist es nicht klar, ob sie auch noch darüber hinaus zur Fortleitung des Bildes des gereizten Instrumentes nach dem Inneren des Gehirns dienen, oder ob es nicht vielmehr irgendwelche andere geistige Stoffe

geben mag, von feinerer Konstitution als jener in der Retina verstreute mehr körperliche Stoff, welche eines materiellen Weges nicht bedürfen, sondern frei durch den ganzen Körper hindurchgehen, die Reizungen der Glieder aufnehmen und jener Fähigkeit des Gehirns, die Sinneszentrum genannt wird, mitteilen. Es ist auch möglich, daß das Bild des gereizten Sinneswerkzeugs von der Netzhaut nach dem Gehirn zwar auf dem Wege des Sehnerven hinübergeleitet wird, doch nicht soweit dies ein körperlicher Weg ist, sondern soweit dieser Weg vom gemeinsamen Sinneszentrum bis zum Sehnerven [Netzhaut] mit geistigem Stoff erfüllt ist, und daß dieses kontinuierliche Vorhandensein eines geistigen Stoffes die Ursache der Überleitung des Reizes vom Auge nach dem Gehirn ist: wie auch in einem stehenden Gewässer die Bewegung, welche ein hineingeworfener Stein verursacht, bis an die Ufer fortgepflanzt wird, solange die Oberfläche des stehenden Gewässers nämlich nicht unterbrochen wird.

Man kann auch sagen, wie die Sonne mit geradlinigen, leuchtenden Strahlen alles erhellt, so erleuchte die Seelenfähigkeit im Gehirn mittels geistiger, nach jeder Richtung hin biegbarer Strahlen die Instrumente [Sinnesorgane], aber nur so lange, als die Strahlen nicht unterbrochen werden. [25] Denn wie uns die durchsichtigste Luft nichts nützt, wenn etwas Dunkles zwischen uns und die Sonne tritt, so wird auch dann der geistige Stoff nichts nützen, der die Retina umgibt, wenn oberhalb im Kopfe aus irgend einer Ursache jener kontinuierliche geistige Strom unterbrochen wird. Daher jenes plötzliche Auslöschen des Lichtes in Krankheitsfällen, welches nicht durch Rückfluß des geistigen Stoffes, sondern von seiner Unterbrechung und Wegnahme durch Abschnürung, Verstopfung oder Abschneiden des Weges herrührt.

Soviel über die sekundäre Veränderung, die das gemeinsame Sinneszentrum betrifft, hervorgerufen durch das primäre Bild des gereizten Sinnesorgans als seines Objektes.

LXII. Lehrsatz. Werden beide Netzhäute in gleicher Weise gereizt, so glauben wir ein einziges Bild zu sehen; werden aber die beiden Netzhäute in ungleicher Weise gereizt oder bemalt, so erscheinen uns die Gegenstände doppelt statt einfach.

Denn das Gesamtbewußtsein hat keine Empfindung von dem ungereizten Sinnesorgan. Oder, wenn eine solche vorhanden ist, so bleibt sie sich immer gleich und ist deshalb ungeeignet, eine neue Empfindung hervorzurufen. Aber das gereizte

rgan macht sich sofort im Gesamtbewußtsein bemerklich ach LXI).

Sind die Augen in gleicher Weise gereizt, so wird auch in gleicher Eindruck oder eine gleiche Veränderung von seiten er beiden gereizten Augen im Sinneszentrum sich geltend achen, das doch ein und dasselbe ist. Denn die Spuren, m mich so auszudrücken, welche das rechte Auge durch seine eizung dem Sinneszentrum eindrückt, drückt auch das linke urch die seinige ein: soweit es darauf ankommt, eine neue mpfindung im Gehirn zu bewirken. Der zweite Teil der Beauptung folgt aus LXI. Denn wenn das Sehen ein Gewahrerden des gereizten Instrumentes ist, wie es gereizt wird: nd wenn zwei Gebilde da sind, von denen jedes in besonderer Weise gereizt wird, so werden auch zwei Eindrücke im Sinnesentrum entstehen und auf diese Weise zwei Empfindungen erselben Sache. Es dient daher die Kreuzung der Sehnerven men im Gehirn nicht dazu, die Einheit eines mit beiden Augen gesehenen Gegenstandes zu erkennen. Dem steht nämich auch der Umstand entgegen, daß jene zwar immer gerenzt sind, wir aber keineswegs immer einen Gegenstand zu ehen scheinen, obwohl wir mit jedem von beiden Augen einen ehen.

[26] LXIII. Lehrsatz. Es ist nicht möglich, daß die Netzhaut, welche stets denselben Platz im Auge beält, sowohl von nahen als von fernen Gegenständen scharfe Bilder erhält[21]).

Denn nach XLI schneiden sich die von einem fernen Punkt usgehenden Strahlen näher hinter der Linse als die von einem ahen. Nun sahen wir aus XLIII, daß im Punkt der Vereinigung ein scharfes Bild entsteht, deshalb muß die Abbildung ußerhalb des Schnittpunktes verschwommen und auch nach X das Sehen undeutlich sein. Und so ist da, wo sich Naheelegenes scharf abbildet, unmöglich der Schnittpunkt der von ernen Gegenständen ausgehenden Strahlen, sondern dort fallen ie Bilder fern gelegener Gegenstände verschwommen aus und mgekehrt. Daraus folgt, daß wir bei derjenigen Lage der etzhaut in bezug auf die Kristallinse, in welcher wir Fernes charf, Nahes verschwommen sehen.

LXIV. Lehrsatz. Es gibt Menschen, welche Fernes scharf, Nahes verschwommen sehen. Aristoteles nennt ie πρεσβυτας [Alterssichtige]. Andere sehen Nahes eutlich, Fernes undeutlich, welche Aristoteles Myopen

nennt. Es gibt aber auch solche, die Nahes und Fernes verschwommen, und wiederum solche, die beides deutlich sehen.

Dieser Lehrsatz gehört in die Physiologie und fast in die Medizin. Diejenigen, die beides zugleich verschwommen sehen, haben eine Augenkrankheit, sie sind blöde oder nahezu blind. Dies πάθος [Leiden] folgt aus einer fehlerhaften Bildung des Auges.

Diejenigen, welche fern und nah gleich deutlich sehen, haben nicht bloß ein gesundes, sondern auch ein in bezug auf die Form veränderliches Auge. Denn da (nach LXIII) die Netzhaut in ein und derselben Lage, nicht zugleich von nahen und fernen Gegenständen scharfe Bilder erhalten kann und doch bei den Menschen, welche nah und fern deutlich sehen, gleich scharfe Bilder erhält (nach LX und LXI), so muß die Netzhaut in bezug auf die kristallene Feuchtigkeit oder die kristallene Feuchtigkeit in bezug auf die Netzhaut eine Ortsveränderung machen. Und es ist wahrscheinlich, daß ein gesundes, kräftiges und jugendliches Auge, wie es vorn eine deutliche natürliche Bewegung in der Pupille hat, die sich zusammenzieht bei starkem Licht und sich erweitert bei geringem, so auch hinten in der Netzhaut hinter dem kristallenen dieselbe Fähigkeit habe, so daß es den Augapfel [im Äquator] erweitert, wodurch der Augengrund sich dem Kristallenen nähert, wenn Fernes gesehen werden soll: umgekehrt schnürt es sich im Äquator ein, damit der Hintergrund zurückweiche, wenn Nahes ins Auge gefaßt werden soll. [27] Oder der Sitz dieser natürlichen Bewegung ist vielleicht eher in jener spinngewebartigen Haut, welche die Linse der kristallenen Feuchtigkeit in ihrem Zentrum festhält und dieselbe ringsherum durch schwarze strahlige Ausläufer mit der Uvea verbindet. Denn jene schwarzen Strahlen, Ziliarfortsätze genannt, scheinen deshalb so kammförmig angeordnet zu sein, damit jeder von ihnen für sich allein gleichsam als besonderer Muskel wirken könne. Sobald diese alle sich gleichzeitig in sich zurückziehen und auf diese Weise kurz werden, verengert sich diese Art von Diaphragma des Auges, indem die seitlichen Teile des Auges zusammengezogen werden, und bewirkt, daß die Gestalt des Auges etwas länglich oder ellipsoidisch wird, sobald der Augengrund, d. i. die Höhlung der Netzhaut, vor der kristallenen Feuchtigkeit zurücktritt. Verschmälern sich hingegen die Ziliarfortsätze in der spinngewebigen Haut, und verlängern sie sich

adurch, so erweitert sich der um die Seiten des Auges ge-
igte Kreis, und das Auge nimmt mehr eine Linsengestalt an,
ndem der Fundus der Netzhaut näher an das Kristallene
eranrückt, unter Beihilfe derselben Uvea, welche die Pupille
chnürt und erweitert. Zu diesem Behuf sind die Feuchtig-
keiten des Auges mit Ausnahme der kristallenen flüssig und
önnen zusammengedrückt werden. Diejenigen aber, welche
ur Nahes oder nur Fernes deutlich sehen können, haben ein
war gesundes, aber bereits sich härtendes, [einseitig] gewöhntes
leichsam gealtertes Auge. Es ist nämlich durchaus falsch,
aß nur Greise das Nahe nicht deutlich sehen und nur junge
eute das Ferne. Beides kommt bei beiden vor, je nach der
örperlichen Beanlagung und den Übungen der Jugendzeit.
enn der, welcher von Jugend auf der Jagd, der Vogelstellerei,
er Schiffahrt und dem Reisen obliegt, gewöhnt sein Auge an
as Fernliegende; aber weil er dazwischen immer wieder
ahrung aufnehmen und mit Menschen verhandeln muß, so
leibt sein Auge auch in der Übung des Nahesehens. Mit der
eit wird die Übung aber schwächer, und so kommt es, daß
m allgemeinen die, welche in der Jugend an keinerlei Augen-
ehler leiden, im Alter nur das Weite deutlich sehen. Es ist
ämlich viel natürlicher, die Augen parallel zu halten, als sie
uf Nahegelegenes konvergieren zu lassen (nach LVII). Im
Alter aber ermüdet das Auge, so daß es lieber die natürliche
Augenrichtung beibehält und dasjenige vernachlässigt, was nur
mit Anstrengung gesehen wird. Aber dieses Übel tritt bei
ihnen meist erst im späten Alter auf. Hingegen, wer von
Jugend auf eine sitzende Lebensweise im Hause führt, sei es
des Studiums oder eines feineren Handwerkes wegen, der ge-
wöhnt sich bald an das Nahe und bleibt auch mit zunehmen-
dem Alter dabei, so daß er mehr und mehr untauglich zum
Sehen in die Ferne wird.

[28] Es gibt aber auch unter der ersten Gruppe mehr zum
Trunke geneigte, schläfrige, müssige und grüblerische, welche
häufig die Beachtung der vor den Füßen und unter den Hän-
den befindlichen Dinge vernachlässigen. Deren Augen nehmen
so viel als möglich die Parallelstellung an, in welcher nur
das Ferne deutlich gesehen wird. Der anderen Art gehören
hingegen Menschen an, welche eher nüchtern, wachsam, fleißig
und achtsam auf das Gegenwärtige sind. So sind jene im
allgemeinen von hoher Gestalt, weil ihr Blick mehr vom Bo-
den abgewendet in die Weite gerichtet ist, diese bleiben mehr

im Wachstum zurück; doch trifft dies nicht immer zu. De
es ist fraglos, daß die individuelle Beschaffenheit auch h
mitspricht*).

LXV. Lehrsatz. Es ist unmöglich, daß ein scharl
Sehen zustande kommt, wenn die Strahlen eines leuc
tenden Punktes irgendwie konvergent auf das Au
fallen.

Denn jedes Auge ist so eingerichtet, daß es entweder f
Gelegenes oder nahe Gelegenes deutlich sieht. Fern Gelege
strahlt gleichsam *παραλλήλως* (nach XXIII). Nahe Gelege
entsendet divergierende Strahlen ins Auge (nach XXIV). K
deutlich sichtbarer Punkt strahlt in der Weise aus, daß se
Strahlen, wenn sie aufs Auge fallen, konvergieren.

---

*) Auf der anatomischen Tafel 49 des berühmten Felix Pl
ist unter Nummer X die Abbildung der spinnegewebigen Haut
sehen, in deren Mitte die kristallne Feuchtigkeit suspendiert
deren besondere Abbildung unter Nummer XIII gegeben w
(Lage im Auge Nummer I), bei litera *a*, wo die Strahlen der spin
gewebigen Haut dargestellt werden durch *kk*. Die Enden s
der Strahlen, welche unter Nr. X von einem Kreise umgeben s
mögen innen mit der Haut der Uvea zusammenlaufend ged
werden. Ebenso sieht man unter Nr. VII jene Haut umgest
und bei den Buchstaben *o*, *o* die Reste jener von der Uveal
abgerissenen Strahlen. Ebendaselbst zeigt der Buchstabe *n*
Pupille an. Da nun also diese Haut und die besagten Stral
der spinnegewebigen von derselben Substanz sind und demsel
Körper angehören, ununterbrochen ineinander übergehen und s
dieselbe schwarze Färbung haben, so ist es sehr wahrschein
daß beider Bewegung von gleicher Natur sei. Es ist aber
natürlicher Zusammenschluß der Teile um *n* vorhanden oder
gekehrt eine Erweiterung. Deshalb scheint auch dies natü
zu sein, daß die Strahlen unter Nr. X sich zuweilen in sich zur
ziehen und sich verkürzen, und daß auf diese Weise der K
der sie umgibt samt dessen Ansätzen unter Nr. VII bei *o*, *o*
verengert, und daß zugleich das Kristallne in *o*, *o* vom Grun
entfernt werde. Wenn sich im Gegensatz dazu die Strahlen u
Nr. X in die Länge dehnen, was durch das Dünnerwerden der
zelnen geschieht, so wird der Kreis, der ihre äußersten Enden
schließt und unter Nr. VII die Reste der abgerissenen Stra
vorstellt, über *o*, *o* erweitert. Auf diese Weise geschieht es,
durch die Erweiterung des Kreises *o*, *o* der Grund *p* näher he
gezogen wird an das Kristallne, welches in der Mitte des Kreises
aufgehängt ist.

Eine Erklärung der übrigen Teile des Auges, die für die
hauptungen 60 bis 64 von Nutzen sein kann, mag aus Plater
dem optischen Teil meiner Astronomie, Seite 163, genom
werden.

Soweit über das Auge und das Sehen; im folgenden über die Anwendungen der Linse in bezug auf das Auge.

LXVI. Optischer Grundsatz. Ein Gegenstand von bekannter Entfernung, aber unbekannter Größe erscheint, wenn man ihn unvermutet erblickt, unter einem großen Gesichtswinkel groß, unter einem kleinen klein.

Dies wird gezeigt in XIX. der Optik.

LXVII. Optischer Grundsatz. Die Entfernungen zwischen dem Auge und einem sehr kleinen Gegenstande verhalten sich umgekehrt wie die Gesichtswinkel: d. h. je weiter ein Gegenstand fortrückt, unter um so kleinerem Winkel wird er gesehen.

[29] LXVIII. Ein Gegenstand von bekannter Größe und unbekannter Entfernung, z. B. das Gesicht eines erwachsenen Menschen, scheint, unvermutet mit einem Auge erblickt, nahe zu sein, wenn er unter einem großen Gesichtswinkel erscheint, fern unter kleinem (nach LXVII).

Beweis umgekehrt wie vorher. Es darf aber [wirklich] nur mit einem Auge gesehen werden, weil die Zweiheit und der [gegenseitige] Abstand der Augen (ebenso wie die Bewegungen des Kopfes, wodurch wir gewissermaßen mehrere voneinander entfernte Augen ersetzen) die unbekannte Entfernung eines Gegenstandes, wenn sie in einem gewissen Verhältnis steht, richtig schätzen läßt.

LXIX. Alles Fernliegende scheint den gleichen Abstand von uns zu haben, weil wir ihn nicht kennen. Da wir aber wissen, daß er sehr groß ist, so ist er uns wenigstens relativ bekannt (z. B. fassen wir den Himmel als eine einzige Fläche auf, auf der wir uns alle Sterne vorstellen ohne Rücksicht auf die verschiedenen Entfernungen). So halten wir Entferntes von unbekannter Größe, unter größerem Gesichtswinkel gesehen, für größer, unter kleinerem für kleiner, und zwar absolut.

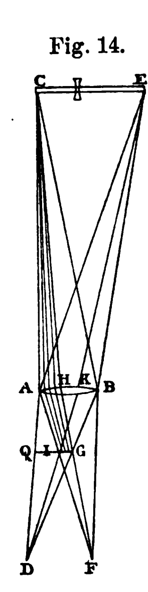
Nach LXVI.

Aus demselben Grunde halten wir auch den Mond, sobald sein Gesichtswinkel durch irgendwelche Ursache gewachsen ist, selbst für größer geworden, weil wir über die Entfernung des Mondes nichts wissen, als daß er immer an demselben Himmel steht, unter welchem Winkel er auch gesehen werden möge.

LXX. Lehrsatz. Durch Konvexlinsen sieht das Aug den Gegenstand in seiner richtigen Lage, d. i. aufrecht, wenn es sich noch innerhalb der Schnittweit in der Nähe des Schnittpunktes der von einem Objektpunkte ausgehenden Strahlen befindet[22].

AB [Fig. 14] sei eine Linse, und das Objekt CE nich mehr ein bloßer Punkt, sondern ein Gegenstand. C und E seien dessen äußerste Punkte. Von C geh das Strahlenbündel CBF, CHF, CAF usw. aus. Der Schnittpunkt ist F. Ebenso geh von E das Bündel EBD, EKD, EAD usw. aus. Der Schnittpunkt sei D. [30] Da Auge befinde sich in einem Ort zwischen den Schnittpunkten D und F einerseits un der Linse AB andererseits, etwa in IG. Di Größe der Pupillenöffnung sei IG. Ein da selbst befindliches Auge läßt also nicht da ganze Bündel $EADBE$ vom Punkte E in sein Inneres eintreten, sondern nur den Teil $EKIDGBE$, der mit der Linse die Grenz linie KB gemeinschaftlich hat. Andererseit läßt IG auch nicht das ganze Bünde $CAFBC$ des Punktes C ein, sondern nu den Teil $CAIFGHC$, dessen Begrenzun an der Linse AH ist. Jeder Strahl zwische KI und BG bildet den Punkt E ab; als rechts bildet sich der rechts gelegene Punk ab. Und ebenso bildet jeder zwischen A HG gelegene Strahl den Punkt C ab, als links den links gelegenen. Von welcher Seite die Teile de Bündel $AHGI$ und $KBGI$ an das Auge GI herantreten auf der Seite befinden sich auch in Wahrheit die Spitzen de Bündel oder die gesehenen Punkte.

Fig. 14.



LXXI. Lehrsatz. Jede aufrechte Wiedergabe ferne aufrechter Gegenstände durch Konvexlinsen ist notwendigerweise verschwommen, und um so verschwommener, je weiter die Konvexlinse vom Auge entfernt ist.

Denn nach dem vorhergehenden von XXXIV bis XL werde alle von ein und demselben Punkte eines fernen Gegenstande (z. B. vorige Figur Punkt C) ausgehenden und bis zum Eintritt in die Konvexlinse parallelen Strahlen CA, CH usw

ach der Brechung durch die Linse konvergent auf das Auge G auffallen. Nach LXV aber kann ein Punkt unmöglich utlich gesehen werden, von dem aus konvergente Strahlen f das Auge auffallen. Da nun Konvergenz die Ursache r Undeutlichkeit ist, so wird größere Konvergenz auch ößere Undeutlichkeit zur Folge haben. [31] Je größer aber r vom Auge aufgefangene Teil des Büschels ist, um so ßer wird seine Konvergenz sein, und dies ist der Fall, je iter die Linse vom Auge abrückt. Deshalb wird auch s aufrechte Bild um so undeutlicher, je weiter die Linse rückt.

LXXII. Lehrsatz. Ein aufrechtes Bild von nahen egenständen, durch Konvexlinsen erzeugt, erscheint n Alterssichtigen scharf.

So nennt Aristoteles diejenigen, welche Fernes scharf, hes undeutlich sehen, wie LXIV. Ein solcher hat, nach XIII, seine Augen an Strahlen gewöhnt, die von jedem nkte aus parallel herkommen. Nun aber gibt es nach XXV und XXXIX einen Punkt jenseits der Linse oder des ses von der Beschaffenheit, daß wenn ein Punkt eines htbaren Gegenstandes dorthin gerückt wird, die von ihm aus- henden Strahlen nach der Brechung durch die Linse parallel f das Auge fallen. Jenen erscheint daher der Gegenstand rch die Konvexlinse deutlich.

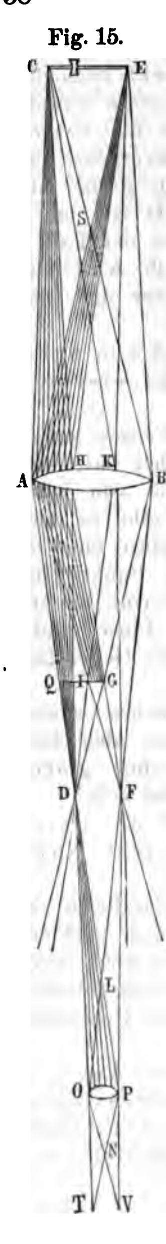
Und dabei ist zu bemerken, daß diese Versuchsanordnung Umrisse der Dinge scharf umgrenzt. Die Natur aber über- reitet diese Grenzen nach beiden Seiten ohne größere hädigung des Sehens, nur darf es nicht zu viel sein[23].

LXXIII. Lehrsatz. Ein im Schnittpunkt der Paral- len [Brennpunkt] befindliches Auge sieht Nahe- elegenes noch aufrecht[24].

Denn wenn das Auge im Schnittpunkt der Parallelen sich findet (d. h. also der Strahlen, welche von einem weit ent- nten Punkte kommen, nach XXIII), so steht es noch inner- lb vom Schnittpunkt der von einem nahen Punkt ausgehenden rahlen, nach XLI. Deshalb wird nach LXX der Gegenstand ch aufrecht zur Darstellung kommen.

LXXIV. Lehrsatz. Befindet sich das Auge im hnittpunkt der von einem Punkte des Gegenstandes sfahrenden Strahlen, so sieht es den strahlenden Punkt durch die Linse hindurch nicht deutlich, son- dern von allen am undeutlichsten.

Fig. 15.



[32] Denn die von einem Punkt au
fahrenden Strahlen konvergieren nach de
Brechung durch die Linse nach dem Schnit
punkt. Befindet sich nun das Auge i
Schnittpunkt, so konvergieren sie nach de
Auge hin. Aber nach LXV ist in diese
Falle der Ausgangspunkt und der Urspru
nicht deutlich zu sehen. Da in jenem Punk
die größtmögliche Konvergenz aller dur
die Linse gegangenen Strahlen herrscht,
muß dort auch die allergrößte Undeutlichke
sein.

LXXV. Lehrsatz. Befindet sich da
Auge außerhalb des Schnittpunkte
der von einem Punkte des Gegen
standes ausgehenden Strahlen, s
sieht es die einzelnen Punkte de
Gegenstandes durch die Konvexlin
in umgekehrter Reihenfolge.

Ich behaupte nicht, daß es in jede
Entfernung von dem Vereinigungspunkte d
von einem einzelnen Punkt ausfahrend
Strahlen den ganzen sichtbaren Gegensta
umgekehrt sähe; denn um einen großen T
des sichtbaren Gegenstandes zu erblicke
bedarf es einer großen Entfernung. Ich b
haupte vielmehr, daß die Umkehrung jen
sichtbaren Gegenstandes gewöhnlich auf d
Durchgang durch den Vereinigungspunkt d
Strahlen eines bestimmten sichtbaren Gege
standes folge.

Es befinde sich nämlich in Fig. 15 d
Auge nicht in IG innerhalb der Punkte
oder F der Vereinigung, sondern in OP auße
halb dieser Punkte, und zwar in so weit
Abstande, daß der ganze Gegenstand C
gesehen werden kann: wenn AD als äuße
ster links gelegener Strahl des rechts li
genden Punktes E, und BP als äußers
rechts liegender Strahl des links gelegen
Punktes C bis zum Schnittpunkt (welcher
sei) und darüber hinaus verlängert word

ist. Die Pupille des Auges OP befinde sich jenseits dieses Schnittpunktes.

Daher bestrahlt der rechts gelegene Punkt E mittels des Strahles $EADLP$ und der ihm benachbarten Strahlen (die auf die linke Seite der Linse von A bis H fallen, nach der Brechung [33] sich in D schneiden und von da aus wieder in der Richtung nach dem Auge zu divergieren) von der linken Seite A der Linse her das Auge OP. Dahingegen bestrahlt der links gelegene Punkt C das Auge in OP mittels des Strahles $CBFO$ und den benachbarten Strahlen bis einschließlich K, welche sich in F schneiden und dann (nach XXI) wieder divergieren nach dem Auge OP; und so kommt es, daß der links gelegene Punkt C des Gegenstandes von der rechten Seite BK der Linse herstrahlt. Da aber das Auge nicht merkt, was mit den Strahlen an der Linse vorgeht, sondern glaubt, jeder Teil des sichtbaren Gegenstandes befinde sich in der Richtung, von welcher aus die Strahlen in das Auge eintreten, nach XIX, so erscheint der gesehene Gegenstand CE dem Auge umgekehrt.

LXXVI. Lehrsatz. Der Punkt der Umkehr, d. i. derjenige, in welchem sich je zwei Linien, von je zwei Punkten des Gegenstandes nach dem Mittelpunkt des Auges gezogen, schneiden, dieser Punkt, behaupte ich, liegt zwischen dem Gegenstand und der Linse.

Der Beweis, daß die rechten Teile der Linse den linken Teilen des sichtbaren Gegenstandes entsprechen und umgekehrt, ergibt sich wie oben in LXXV. Eine Kreuzung der Lichtbündel findet nicht zwischen Auge und Linse statt, sondern zwischen Linse und Gegenstand. Was aber von den ganzen Lichtbündeln gilt, das muß notwendig von ihren Mittellinien gelten, welche in das Zentrum der Pupille einfallen, und ebenso auch von denen, welche den Rand der Pupille berühren, wie sich in Fig. 15 $EADLP$ und $CBFLO$ im Punkt L schneiden, und in P und O den Rand der Pupille berühren. Der Schnitt in L aber bildet einen Teil der Kreuzung der Bündel ODP und OFP in OP, die hier nicht mehr in Betracht kommt, weil sie oben (Lehrs. LXX) die Lage des Gegenstandes nicht umkehrte. Es handelte sich um die Bündel $ACHG$ und $IKEBG$.

LXXVII. Lehrsatz. Das Auge des Alterssichtigen sieht von den durch Konvexlinsen umgekehrten Gegenständen fast nichts deutlich.

Denn der Alterssichtige hat (nach LXIV) sein Auge auf parallele Strahlung von fernen Punkten eingewöhnt und ist deshalb ungeeignet, deutlich zu sehen, wenn die Strahlen von einem Punkte aus merklich divergieren. [**34**] Bei der Umkehr des Gegenstandes entsenden alle seine Punkte Strahlen, die nach der Kreuzung *DF* wieder divergieren in der Richtung nach dem Auge *OP* (XXI), nämlich *DO* und *DP* einerseits und *FO* und *OP* andererseits. Das Auge des Alterssichtigen sieht also in *OP* nicht deutlich, es müßte denn sein, daß das Verhältnis des Pupillendurchmessers zur Entfernung *DO* aufhört, ein merkliches und angemessenes zu sein, dergestalt, daß die Strahlen *DO* und *DP* fast parallel werden.

LXXVIII. Lehrsatz. Das Auge des Kurzsichtigen sieht jeden Gegenstand, sei er nah oder fern, wenn er durch eine Konvexlinse umgekehrt wird, deutlich in einer gewissen Entfernung des Auges vom Schnittpunkt der Strahlen, welche von einem Punkt jenes Gegenstandes ausgehen.

Kurzsichtige sind nach Aristoteles diejenigen, welche nahe Dinge deutlich sehen, ferne aber undeutlich. Wie bei Lehrsatz LXIV.

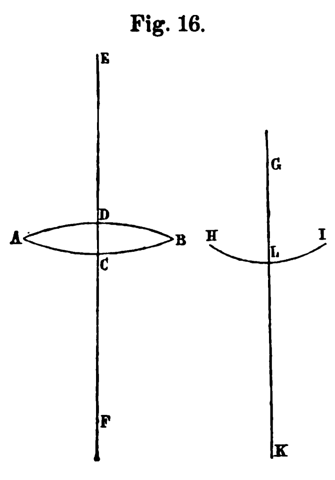
Ihre Augen sind also gewöhnt an Strahlen, welche von einem Punkt aus merklich divergieren. Die Umkehrung fällt (nach LXXV) außerhalb des Schnittpunktes. Nach XXI aber gehen Strahlen von dem leuchtenden Punkt divergent nach der Linse *KB*, konvergieren nach deren Durchsetzung nach dem Schnittpunkt *F* und divergieren wieder nach dessen Überschreitung gegen das Auge *OP* hin. Sie eignen sich also für dieses Auge zum deutlichen Sehen jenes Punktes *C*. Ich meine [sie eignen sich] in einem bestimmten Abstande von *DF*, den Kreuzungen der Büschel des zu betrachtenden Gegenstandes. Denn die Fähigkeiten der verschiedenen [kurzsichtigen] Augen werden unterschieden an den größeren oder geringeren Divergenzen (nach LXIV). Die Divergenz ist aber geringer bei einer größeren Entfernung der Pupille *OP* von den Schnitten in *DF*; weil der Winkel *ODP* oder *OFP* kleiner wird, wenn die Basis *OP* dieselbe bleibt, aber die Schenkel *OD*, *PD* wachsen. So hat jedes Auge eine bestimmte günstige Entfernung vom Schnitt in *D*, *F*[25]).

LXXIX. Lehrsatz. Eine einzige konvexe Oberfläche von kleinem Radius kommt genau gleich den zwei

vexen Oberflächen einer Linse mit doppelt so en Radien.

35]. AB [Fig. 16] sei eine Konvexlinse von beiderseits ien Kreisen ADB und ACB, deren Mittelpunkte F und Dann ist nach XXXIX. chnittpunkt F. Es werde Hälfte von DF oder CE nmen, und dies sei GL. um G als Mittelpunkt s mit der Zirkelöffnung GL Kreis HLI beschrieben, ier einzig und allein die ung bewirke an den aus Richtung des Zentrums G llenden parallelen Strahlen. werde bis K verlängert, LK sei doppelt so groß L und infolgedessen gleich Dann laufen nach XXXV arallelen, nachdem sie in L, I gebrochen wurden, zusammen. Die eine

Fig. 16.



e konvexe Oberfläche HLI von kleinem Radius leistet n dasselbe, wie die zwei von doppelt so großem Radius B; weil der Schnittpunkt in beiden Fällen gleich weit dichten Körper entfernt ist, da ja DF und LK gleich

XXX. Lehrsatz. Jedes aufrechte Bild, welches konvexe Linse von einem Gegenstand entwirft, otwendigerweise größer als der Gegenstand selbst. enn nach Umkehrung von LXX befindet sich das Auge, das Bild aufrecht ist, in der Nähe des Schnittpunktes on einem Punkte des Gegenstandes kommenden Strahlen, s findet keine Kreuzung der Strahlenbündel oder Linien, on den Punkten des Gegenstandes ausgehen und in die des Auges treten, zwischen dem Auge und dem Gegens statt (nach LXXVI). Es sei also [in Fig. 17] AB die , C das Auge und DE der Gegenstand. Da nun mehrere te des Gegenstandes in Betracht kommen, so wird von en einzelnen Linien, die von diesen einzelnen Punkten dem Zentrum des Auges oder umgekehrt gehen, entweder ine davon senkrecht zur Linse sein, oder keine. Deshalb

werden entweder alle an der Linse gebrochen werden oder alle außer einer (nach X).

[36] Aber nach LXXIX leisten zwei konvexe Flächen an einer Linse dasselbe, wie eine einzige, die die Wirkung beider in sich vereinigt. Damit uns nun hierbei nicht die doppelte Konvexität verwirrt, so nehmen wir nur eine Konvexität an, welche den beiden von AHB gleichkommt. Verbindet man jetzt die Punkte D und E mit C durch gerade Linien, welche die dichte Konvexlinse in I und K schneiden, so geht aus dem Gesagten hervor, daß diese nicht die zukünftigen Sehstrahlen der Punkte D und E sind, da sie geradlinig bleiben: die optischen Gesetze verlangen aber, daß CI an der Oberfläche in I sich von ID ab- und der Senkrechten im Punkte I zuwendet, wodurch es einwärts von D und B nach E zu fällt; ebenso wird CK nach der Brechung nicht durch KE fortgesetzt, sondern einwärts von KE nach D hin fallen. Und so umfassen denn die Linien CI und CK und der Winkel ICK, unter welchem der Gegenstand DE ohne die Linse hätte gesehen werden können, infolge der Dazwischenkunft der Linse nicht den ganzen Gegenstand, sondern etwas weniger, und dieses hat die scheinbare Größe des ganzen Gegenstandes DE.

Fig. 17.

Damit das ganze DE umfaßt werde, ist es notwendig, daß vom Auge weiter nach außen gelegene Linien kommen, als CI und CK sind, z. B. CA und CB. Diese werden daher, wenn sie genügend von CI und CK abstehen, nach der Brechung in A und D den Gegenstand DE umfassen, so daß CAD und CBE die Sehstrahlen sind. Da nun der Winkel ACB größer ist als ICK, unter welchem der Gegenstand ohne Linse gesehen würde: so muß der Gegenstand DE für größer gehalten werden, als er ist (nach LXVIII). Denn nach XIX. weiß das Auge nicht, was mit den Strahlen CA und CB beim Durchgange in A, B vorgeht, und glaubt, sie setzten sich geradlinig fort, als wären sie CAF und CBG, wobei die scheinbare Größe FG größer ist als DE.

LXXXI. Lehrsatz. Je weiter das Auge von der Konvexlinse entfernt nach dem Schnittpunkt zu steht, einen desto kleineren Teil des Gesichtsfeldes erblickt es durch die Linse, und um so kleiner schätzt es diesen Teil.

[37] Denn da sowohl die Linse, als was durch sie auf beiden Seiten unter demselben Gesichtswinkel gesehen wird (und zwar unter einem kleineren, wenn die Linse entfernt steht, als wenn sie nahe ist), so folgt, daß der gesehene Teil kleiner geschätzt wird, wenn die Linse weiter fortgerückt ist (nach LXVII). Aber auch in Wirklichkeit wird durch die entferntere Linse ein kleinerer Teil überblickt. Es sei nämlich in der vorigen Figur 17 die Linse AB weiter von dem Auge C als von dem Auge O entfernt und von O aus die Geraden nach A und B gezogen. Da nun OA und OB mehr nach innen liegen als CA und CB, so werden die zugehörigen gebrochenen Strahlen, nachdem sie sich in A und B überkreuzt haben, mehr nach außen liegen (nach XI). Der zu OA gehörige gebrochene Strahl AM liege mehr nach außen, und der zu OB gehörige gebrochene Strahl BN liege auch mehr nach außen. Dann werden offenbar die von dem nahen Auge herkommenden gebrochenen Strahlen AM und AN einen größeren Teil des Gesichtsfeldes umfassen und die von dem ferner gelegenen Auge C herkommenden gebrochenen Strahlen AD und BE einen kleineren Teil. Dieses wird noch um vieles augenscheinlicher, wenn bei derselben Neigung der gebrochenen Strahlen die Augen O und C in eins zusammenfallen, die Linse aber verschiedene Lagen einnimmt.

LXXXII. Lehrsatz. Fixiert ein Auge einen fernen Gegenstand durch eine nahe davorgehaltene [konvexe] Linse, so scheint der Gegenstand größer zu werden, wenn sich das Auge von der Linse in der Richtung nach dem Schnittpunkt zu entfernt.

Diese Behauptung scheint der vorigen zu widersprechen und erfordert deswegen eine Erklärung. Man bedenke, daß alle durch eine fern gehaltene Linse gesehenen Gegenstände in ihrer Gesamtheit unter einem kleineren Gesichtswinkel gesehen werden, nach LXXXI. Aber die einzelnen Gegenstände, abwechselnd durch nah und weit gehaltene Linse betrachtet, erscheinen durch die weit gehaltene Linse unter größerem Gesichtswinkel. Denn der Winkel, unter dem die ganze Linse gesehen wird, und der Winkel, unter welchem ein Gegenstand

durch einen Teil der Linse gesehen wird, verhalten sich ganz verschieden. Jener wird nämlich kleiner, dieser größer, wenn die Linse weiter abgehalten wird, und mit ihm vergrößert sich auch der Linsenteil, durch welchen der Gegenstand erblickt wird, zuerst so, daß er den Gegenstand umfaßt, und dann so, daß er denselben größer darstellt; dergestalt, daß das Auge, wenn es in den Schnittpunkt selbst rückt, in dem ganzen Umfange der Linse einen einzigen Punkt des Gegenstandes erblickt, der nahe am Auge gesehen wurde, doch einen kleineren oder jedenfalls nicht größeren Teil der Linse als die Pupille des Auges ausmacht[26]).

[38] Und nun zum Beweise: Es sei, wie oben nach LXXIX, das [Brechungs]vermögen der beiderseits konvexen Linse [Fig. 18] vereinigt in der einen Oberfläche *AB* des dichten Körpers, welcher sich bis zu dem Gegenstande erstreckt. Diese Oberfläche sei dem Auge zugekehrt. Das Auge möge seinen Standpunkt nehmen einmal im nahen Punkte *F* und das andere Mal im entfernteren *C*. Auf der Oberfläche *AB* mögen sich die Punkte *D*, *E* befinden, zu denen vom nahen Auge *F* die Linien *FD* und *FE* gezogen werden, die den Winkel *DFE* umschließen. Durch diesen Winkel und diese Linien werde der Gegenstand umfaßt. Ich behaupte daß das entferntere Auge *C* einen größeren Winkel brauche, um den Gegenstand falls er ein ferngelegener ist, zu umfassen

Fig. 18.

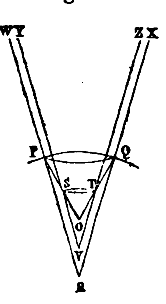
Man ziehe von *D*, *E* die zugehörigen gebrochenen Strahlen *DG* und *EH* bis zum Gegenstand. Wenn nun jener entfernte Gegenstand nicht unter größeren Winkel von *C* aus gesehen wird, so mag er unter dem gleichen gesehen werden, und man ziehe die zu *FD* und *FE* Parallelen *CA* und *CB*, so daß Winkel *ACB* und *DFE* gleich sind. Da *CA* und *CB* stärker zur Oberfläche *AB* geneigt sind als *FD* und *FE*, so werden auch *CA* und *CB* stärker gebrochen werden als *FD* und *FE*, nach X Darum werden die zu *CA* und *CB* gehörigen gebrochenen Strahlen sich mit den zu *FD* und *FE* gehörigen gebrochenen jeder auf seiner Seite schneiden (sowohl deshalb als auch nach XXXIV), weil *CA* und *FD* parallel sind, ebenso wie *CB* und *FE*. Sie mögen sich also schneiden, und zwar mögen di

Schnittpunkte G und H sein. Zu CA und CB mögen die gebrochenen Strahlen AG und DH gehören. Da angenommen wurde, der Gegenstand erscheine unter dem Winkel ACB, so wird er gesehen und umfaßt werden durch die gebrochenen Strahlen AG und BH. Er wird aber auch gesehen und umfaßt durch die gebrochenen Strahlen DG und EH. [39] Deshalb müssen die Endpunkte des Gegenstandes notwendig G und H sein. Und deshalb würde der Gegenstand nicht fern, sondern nahe sein, was gegen die Annahme verstößt. Es wird mithin das in C befindliche Auge diesen Gegenstand nicht mittels der Strahlen CA und CB und unter dem Winkel ACB ($= DFE$), sondern mit mehr nach außen gelegenen Linien, z. B. CI und CK und unter dem Winkel ICK ($> ACB$ oder DFE) sehen: so daß die zu CI und CK gehörigen gebrochenen Strahlen IL und KM nahezu parallel zu DG und EH zur Umfassung der Endpunkte des fernen Gegenstandes ausgehen können.

LXXXIII. Lehrsatz. Sieht ein Auge nacheinander durch zwei verschiedene Konvexlinsen nach einem ferngelegenen Gegenstand, so erscheint er von derselben Größe, wenn die Abstände jeder Linse vom Auge sich verhalten wie die Durchmesser der Konvexität einer jeden. Ist aber das Verhältnis anders, so wird das Auge den Gegenstand durch diejenige Linse größer sehen, deren Abstand im Verhältnis größer war[27]).

In Fig. 19 sei O das Auge, PQ die große Linse, um den Mittelpunkt R beschrieben. Die Punkte P und Q werden verbunden mit O, und in den Punkten ST dieser Linien befinde sich die kleinere Linse ST. Durch S und T ziehe man, parallel zu PR und QR, SV und TV. Ihr Schnittpunkt V sei der Mittelpunkt der [Konvexität der] kleineren Linse. Es werde ferner OP und OQ in PW und QX gebrochen.

Fig. 19.



Da VS und RP parallel sind, und ebenso VT und RQ, so werden die sie schneidenden Geraden OP und OQ gleiche Winkel bilden, $OPR = OSV$ und ebenso $OQR = OTV$. Aber auch VTS und RQP sind gleich, als gebildet von den Linsen und deren Halbmessern: und deshalb werden auch

OTS und OQP gleich sein, weil Gleiches abgezogen wurde. Daher hat OT zu Linse TS und OQ zu Linse QP dieselbe Neigung. [40] Deshalb werden auch die Refraktionen beiderseits gleich sein. Von S und T an werden die gebrochenen Strahlen — sie mögen SY und TZ heißen — zu PW und QX parallel sein, daher werden sie für den Augenschein denselben Gegenstand (nach XXIII) unter demselben Winkel POQ oder SOT umfassen; deshalb wird er für gleich groß gehalten werden (nach LXVI). Es verhält sich aber der Halbmesser PR der Linse PQ zu ihrem Abstand vom Auge PO, wie der Halbmesser VS der Linse ST zu ihrem Abstand vom Auge SO und umgekehrt. Der erste Teil der Behauptung ist also bewiesen. Nun zum zweiten.

Ich behaupte, wenn das Verhältnis der Abstände und das Verhältnis der Halbmesser ungleich ist, wenn z. B. das Auge O von der Linse ST den Abstand SO hat, das Auge V von der Linse PQ aber den Abstand PV, daß dann die Gegenstände durch die Linse PQ, deren Abstand vom Auge V größer ist im Verhältnis zum Halbmesser PR, größer erscheinen, als der Abstand SO der Linse ST vom Auge O, und zwar im Verhältnis zum Halbmesser SV: weil sich OS zu SV verhält, wie OP zu PR, OP aber kürzer ist als VP.

Denn nach LXXXII würden durch die Linse in der Lage PQ dem Auge V die Gegenstände größer erscheinen, als dem Auge O. Aber, wie bisher bewiesen wurde, erscheinen dem Auge O die Gegenstände in dieser Anordnung durch die Linsen ST und PQ gleich groß. Deshalb erscheinen die Gegenstände dem Auge V durch die Linse PQ größer als dem Auge O durch die Linse ST.

LXXXIV. Lehrsatz. Je weiter sich das Auge nach außen vom Schnittpunkt entfernt, um so kleiner sieht es die umgekehrten Gegenstände.

Der Beweis für diese Behauptung ergibt sich durch Erklärung und Vergleichung mit dem vorhergehenden. Beginnen wir mit der Umkehr von XXXVII, und setzen wir das Auge für den strahlenden Punkt, was erlaubt ist (nach III). Wenn das Auge der Linse so nahe ist, so divergieren diejenigen seiner Strahlen, die durch die Linse gehen, auch nach der Brechung in der Richtung auf den Gegenstand, und der Gegenstand erscheint aufrecht, was in Lehrsatz LXX. bewiesen wurde. Rückt aber das Auge etwas weiter ab, so werden die Gegenstände größer (nach LXXXII), obwohl sich ihre

ahl vermindert (nach LXXXI). Kommt das Auge dann noch
ter an den Schnittpunkt, so werden seine Strahlen durch
Eintritt in die Linse parallel, nach der Umkehr von XXXV.
| Rückt man das Auge noch um ein geringes weiter von
Linse ab, so bekommen alle Strahlen des Auges nach der
chung durch die Linse die Tendenz, sich zu schneiden, an-
s hinter dem Gegenstand [wenn man sie hinreichend ver-
ern würde], dann in einem einzigen Punkt des fernen Gegen-
des. Und dann wird von dem ganzen Gegenstand nur
einziger Punkt gesehen, und zwar so groß wie die Linse
st, aber ganz verschwommen. Geht man noch ein wenig
er von der Linse mit dem Auge fort, so verläßt der
nittpunkt jener aus dem Auge kommenden und durch die
e gebrochenen Strahlen oder Linien den Gegenstand und
t auf die Linse zu. Da die zusammenlaufenden Strahlen
gegenseitig schneiden und jenseits des Schnittpunktes
h XXI) sich fortsetzen, so fallen auch diese aus dem Auge
menden und durch die Linse hindurch gezogenen Linien
eits ihres Schnittpunktes in umgekehrter Reihenfolge auf
Gegenetand auf (nach LXXVI) und umfassen zunächst
einen ganz kleinen, dem Schnittpunkt zunächst gelegenen
des Gegenstandes; und dann beginnt der Gegenstand an
n seiner Teile umgekehrt zu erscheinen, was in LXXV.
esen ist. Entfernt sich nun das Auge immer mehr und
r, so rückt jener Schnittpunkt mehr und mehr an die Linse
n (nach XLI), und der Winkel des Schnittes wird größer,
er mehr von den Gegenständen umfassend, bis endlich der
and des Auges sehr groß geworden ist; dann fallen die
en aus seinem Zentrum nahezu parallel auf die Linse, und
chneiden sich in einem gewissen und bestimmten Punkt
eits der Linse (wie in Lehrsatz XXXIV). So groß also
ig. 8 Winkel *BFD* ist, so viel von der Halbkugel [Ge-
sfeld] wird umgekehrt gesehen. Denn wenn *BF* und *DF*
er gehen, schneiden sie sich wieder und fallen so auf
Gegenstände. Immer aber bleibt von jener Umkehrung
Gegenstand ausgenommen, welcher sich näher befindet
der Schnittpunkt der aus dem Mittelpunkt des Auges
menden und an der Linse vorbeigehenden Linien. Daher
n es sich ereignen, daß bei ein und derselben Lage des
kels einige ferne Gegenstände umgekehrt, andere nahe auf-
t gesehen werden. Nach diesen Feststellungen erscheint
uns die Linse (nach LXVII) unter einem um so kleineren

Winkel, je weiter vom Auge sie absteht, und mit ihr alles das, was durch sie hindurch umgekehrt gesehen wird. Dann aber wird mit dem Abrücken der Linse vom Auge immer mehr von der sichtbaren Halbkugel[28]) in sie aufgenommen, wie schon entwickelt worden ist. Es wird also das Bild eines größeren Gegenstandes, der in seiner ganzen Ausdehnung überblickt wird, bei geringerer Entfernung des Auges kleiner als das eines kleineren bei näherem Abstande. [**42**] Deshalb wird aus doppeltem Grunde das einzelne der umgekehrten Gegenstände ebenfalls kleiner, wenn die Linse dem Auge ferner ist.

LXXXV. Aufgabe. Mittels einer Konvexlinse die Gegenstände deutlich sichtbar zu machen, aber verkehrt und verkleinert.

Das Auge werde hinter den Schnittpunkt gebracht in einer Entfernung, die seiner Fähigkeit entspricht. Denn (nach LXXIX) wird der Kurzsichtige deutlich sehen, aber (nach LXXV) umgekehrt und (nach LXXXIV) verkleinert: je nachdem das Auge eine gewisse Entfernung zum Deutlichsehen erfordert.

Bis hierher über die Konvexlinse für sich. Nun über zwei miteinander verbundene Konvexlinsen.

LXXXVI. Aufgabe. Durch zwei Konvexlinsen eine Vergrößerung des Gegenstandes bei vollkommener Deutlichkeit herbeizuführen, aber in umgekehrter Lage.

Zwei Konvexlinsen seien in bezug auf das Auge so angeordnet, daß die entferntere für sich allein ein umgekehrtes Bild für das Auge liefert, aber kein deutliches, daß aber das Auge der Linse näher ist, als der Punkt, in welchem ein scharfes Bild hergestellt wird, nach LXXVIII[29]). Wie wenn in Fig. 15 die Divergenz der von einem Punkt ausgehenden Strahlen *DO* und *DP* und der von ihnen eingeschlossenen Winkel *ODP* zu groß wären für das Auge, und das Auge in *OP* sich nach außen von den Schnittpunkten *D* und *F* befände. Nun werde [Fig. 20] eine nähere Linse zwischen die frühere und das Auge so eingeschaltet, daß das Auge sich nach innen von deren Schnittpunkt befindet, wie wenn das das Auge sich in *GI* befände (in Fig. 14). Unter solchen Umständen wird das Auge durch diese Linse allein aufrecht, aber verschwommen sehen: indessen aus dem entgegengesetzten Grunde wie in Lehrsatz LXXI. Weil nun die Divergenz von

tfernten Linse her zu groß ist, so wird die entgegen-
e Konvergenz von der näheren jene allzugroße Divergenz
chen, dergestalt, daß sie dadurch korrigiert wird und
ert an das Auge herankommt zur Herstellung eines
n Sehens.

] Und weil das Bild des Gegenstandes durch die eine
umgekehrt wurde, die nähere Linse aber nicht das von
umkehrt, was sie von der entfernteren
gt, sondern so, wie sie es empfängt, dem
übermittelt aus dem, was hinter ihr liegt
pfängt aber ein Bild, welches umgekehrt
Ansehung des Gegenstandes), so über-
sie auch dieses umgekehrte Bild [des
tandes] dem Auge umgekehrt hinsichtlich
genstandes.

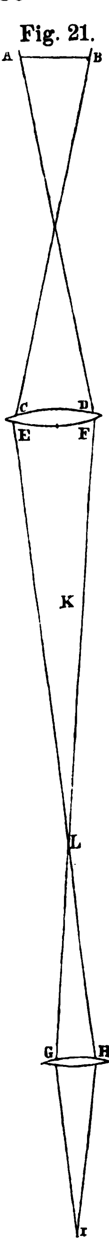
Fig. 20.

d weil das umgekehrte Bild selbst in der
des Schnittpunktes größer erscheint als
egenstand selbst, wenn es weiter ab,
roß, und noch weiter ab kleiner (nach
[V), so wird unser so umgekehrtes Bild,
m es durch die nähere Linse vergrößert
den beiden ersten Fällen unter allen Um-
n größer ausfallen als der Gegenstand,
ten Fall aber entweder größer, gleich oder
, je nachdem das Verhältnis der Linsen
sich ist, welches im Belieben des Ver-
rs liegt: in jedem Fall aber größer als das
elches die dem Auge nächststehende Linse
r entfernteren erhalten hatte (nach LXXX).

nmerkung von Frisch: In dieser Auf-
st die Konstruktion desjenigen Fernrohrs
en, welches wir seit der Zeit Keplers das
mische oder Keplersche nennen. Kepler
tblößt von allen Hilfsmitteln, ein derartiges
hr nicht gemacht. Der erste, welcher das Keplersche
m mechanisch löste, scheint P. Scheiner gewesen zu sein,
r in der »Rosa Ursina« (ed. Bracciani a. 1630) mitteilt,
r sich eines solchen Fernrohrs zu astronomischen Beob-
gen bedient habe.]

XXVII. Aufgabe. Durch zwei Konvexlinsen die
nstände deutlich und aufrecht, aber verkleinert
stellen.

Fig. 21.



Diese beiden Konvexlinsen müssen ei
nügende Verschiedenheit der Konvexitäten
Das Auge möge also sich außerhalb der
seitigen Schnittpunkte befinden, und zwa
Deutlichkeitspunkte der einen näher, dem
deren entfernter, so daß man mit kein
beiden für sich das umgekehrte Bild der
stände deutlich erhält. Wenn nämlich die
in dieser Anordnung zum Auge in ein ur
selben Linie zusammengestellt sind, so heb
die entgegengesetzten Fehler gegenseitig a
Deutlichkeit wird die Folge sein.

Damit das Bild aber auch aufrecht se
es zweimal umgekehrt werden. Und dan
geschehe, muß die (dem Auge) nähere
von der entfernteren bis jenseits der S
punkte derselben abrücken.

[**44**] Es sei nämlich AB, [Fig. 21] der
stand, $CDEF$ die von dem Auge ent
Linse. K sei der Schnittpunkt. Wenn a
Bild von AB durch diese eine Linse um
wird, so wird der Punkt, in welchem d
gekehrte Bild erscheint, jenseits von K we
von der Linse liegen (nach LXXV). Die
sei L, und weil die Gestalt der Linse EF
und mit ihr das umgekehrte Bild von A
neuem durch die zweite Linse, welche G
umgekehrt werden soll, das umgekehrte B
Gegenstandes AB aber durch die Linien
und $BCEL$ umfaßt wird: so muß die Lin
jenseits von L sich befinden (nach LXXV
war aber L jenseits des Schnittpunkts
der entfernten Linse EF. Daher wird G
zweite Linse noch viel weiter über deren S
punkt K hinausgebracht werden, so daß
und ELG, welche von den Endpunkt
Gegenstandes herkommen, nach ihrer
Brechung in G und H endlich wieder zus
gehen und nach dem Auge in I gelenkt v

Endlich ist dieses Bild kleiner als der
stand. Denn erstens wird die Figur v
selbst (und von dem, was durch sie
wird) umgekehrt durch die Linse GH und

a I erscheinen, aber kleiner, nach LXXXV. Nach dem-elben (LXXXV) wird, wenn sich das Auge in L befindet, ach der Gegenstand AB selbst, der von der Linse CD um-kehrt wurde, verhältnismäßig weniger Raum innerhalb der inse einzunehmen scheinen, weil L nicht allzu nahe an den unkt K selbst heranrücken darf, wenn nicht die Undeutlich-it zu groß werden soll. L nämlich muß so nahe wie mög-h dem Deutlichkeitspunkte sein, ebenso wie auch I. In jedem n beiden Fällen wird der Gegenstand AB klein abgebildet.

LXXXVIII. Aufgabe. Mittels zweier Konvexlinsen egenstände auf einem Papier aufrecht abzubilden.

Eine bisher ungelöste Aufgabe. Die Konvexlinsen bleiben ie in Aufgabe LXXXVII, das heißt aber so, daß die dem apier nähere Linse sich jenseits des Schnittpunktes K be-det. [**45**] Denn die Büschel, welche ungefähr in der Gegend n K spitz auslaufen, erweitern sich jenseits K wiederum d divergieren wechselseitig von sich. Diese nimmt die zweite inse in sich auf und spitzt die einzelnen nach der Brechung iederum zu und bewirkt, daß alle unter sich konvergent erden zu einem neuen Schnitt, wonach sie wieder divergieren d auf diese Weise in ihrer ersten Anordnung mit ihren itzen auf das Papier auftreffen. Es geschieht nämlich in g. 20 nicht anders, als ob der Gegenstand CE auf das Bild DF übertragen, und als ob OP nicht mehr das Auge, dern die zweite Linse unterhalb des Gegenstandes wäre. enn sich die Linse OP sehr nahe an dem Bilde DF be-det, so erfordert die Abbildung TV ein ferngehaltenes Papier d gerät groß.

LXXXIX. Aufgabe. Mittels dreier Konvexlinsen ie Gegenstände aufrecht deutlich und vergrößert arzustellen.

Zwei von den Linsen und das Auge werden so angeordnet, aß geschieht, was in Aufgabe LXXXVII gesagt ist, mit iner einzigen Ausnahme, daß nämlich das Auge sich näher n Deutlichkeitspunkte befinde und undeutlich sehe. Denn ie dritte Konvexlinse, so angebracht wie in Aufgabe LXXXVI ie dortige zweite, nämlich dergestalt, daß das Auge sich näher n der Linse als der Schnittpunkt befindet, wird bewirken, aß das Bild (welches zweimal umgekehrt war und jetzt auf-echt, aber dadurch kleiner wurde) wiederum vergrößert wird: enn aber das Verhältnis der Linsen richtig ist, so macht die nahme die frühere Verkleinerung, welche die beiden allein

in LXXXVII zuwege gebracht hatten, wieder mehr als
Die Deutlichkeit wird aber aus denjenigen Gründen :
welche angeführt wurden in Aufgabe LXXXVI.

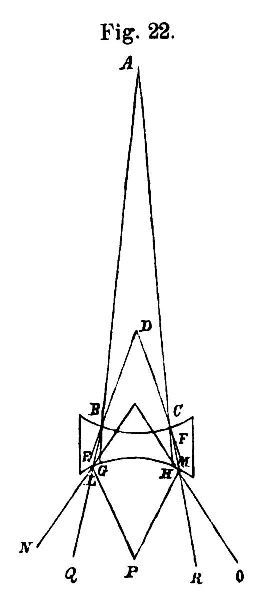
[Anmerkung von *Frisch*: Ein auf diesen Prinzipi
ruhendes Fernrohr verfertigte *Chr. Scheiner* und beschr
in dem oben angeführten Werke.]

Bis hierher über Konvexlinsen: weiter über di kaven.

XC. Lehrsatz. Strahlen, die von einem leucht Punkt aus parallel oder divergent auf die kon Oberfläche eines dichteren Mediums auffallen, w innerhalb desselben noch divergenter (wenn a der leuchtende Punkt außerhalb des Zentrum Oberfläche liegt).

[**46**] Von dem leuchtenden Punkt A, [Fig. 22] aus die divergenten Strahlen AB und AC herabsteigen in di kave Oberfläche BC des dichtere diums, deren Zentrum D sei inn der Umfassung von AB und AC behaupte, AB und AC werden der Brechung in B und C unt BC stärker divergieren. Es nämlich vom Zentrum D aus die rechten DB und DC nach der fläche gezogen und verlängert w etwa bis E und F, und es mögen AB und AC verlängert werde nach G und H. Da nun AB g ist zu der Oberfläche des dic Mediums, so mag es in B gebr werden, und sein zugehöriger geb ner Strahl wird von BG fort nac dem Lot (nach II), neigen und se

Fig. 22.



In ähnlicher Weise wird auc in C gebrochen werden und na Brechung von CH fort nach CI Lot zu neigen, so daß es CM wird. DBE und DCF divergieren st weil sie von einem näher gelegenen als AG und AH kommen, welche von einem ferner gele durch dieselben Punkte B und C gezogen wurden, un BL und CM an sie, die mehr divergieren, herankomme

G und CH aber, welche weniger divergieren, abrücken, also rker divergieren als AB und AC, und zwar [schon] innerlb des dichteren Mediums.

XCI. Lehrsatz. Wäre der leuchtende Punkt der inse näher gewesen als das Zentrum der Kavität, divergieren die divergenten Strahlen nach der echung innerhalb des dichten Mediums weniger.

Es sei nunmehr A das Zentrum des Kreises, D der leuchde Punkt. Dann werden ABG und ACH zu Loten und B und DC zu Strahlen, welche, statt den Weg BE und F zu verfolgen, gebrochen werden in den Punkten B und und heranreichen an die Lote BG und CH und endigen BL und CM, welche weniger divergieren als BE und CF.

[47] XCII. [Lehrsatz.] Innerhalb des dichteren Meums divergent an dessen konkaver Grenzfläche verufende Strahlen divergieren nach ihrem Austritt ch stärker.

Es mögen BL und CM divergent nach der konkaven Bezungsfläche LM verlaufen, deren Zentrum P sei, aus chem die Lote PL und PM nach den Punkten L und M mmen mögen. Und BL und CM sollen verlängert werden h Q und R über die Einfallspunkte L und M hinaus. Weil die Strahlen BL und CM innerhalb des dichten Mediums ief auf die Oberfläche LM des dünneren Mediums um P allen, oder, was dasselbe ist, auf die Grenzfläche des ten Mediums, in welchem sie sich befinden, so werden sie der Brechung abgelenkt werden von den Loten PL und M und werden nach der Brechung nicht LQ und MR sein, dern mehr nach außen gerichtet sein, nach II., wie LN MO. Und da BLQ und CMR divergieren, so werden N und MO noch stärker divergieren.

XCIII. Lehrsatz. Wenn Strahlen in ein dichtes Meum parallel eingetreten sind, werden e nach dem Überschreiten von dessen nkaver Grenzfläche divergieren.

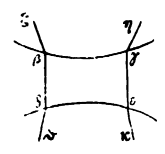


Fig. 23.

Es mögen [Fig. 23] $\beta\delta$ und $\gamma\varepsilon$ parale Strahlen sein. Zwischen ihnen kann r einer senkrecht in $\beta\gamma$ sein, die übrigen len schief auf und werden von ihren Loten gebrochen werden, nach II., also werden ϑ und $\varepsilon\varkappa$ ebenso nach ihrem Austritt divergieren, wie $\beta\zeta$ d $\gamma\eta$ vor ihrem Eintritt divergieren.

XCIV. Lehrsatz. Strahlen, die von einem beliebi
gelegenen Punkt auf eine beiderseits konkave Lins
fallen, divergieren nach der letzten Brechung noc
stärker. Dies trifft auch für eine beiderseits plan
Scheibe zu.

Denn wenn dies nicht der Fall ist, so könnte es auch nic
zutreffen, wenn der strahlende Punkt nach innen vom Zentru
der Konkavität der Linse läge, weil dann nach XCI. die Diver
genz innerhalb des Mediums geringer ist. Dasselbe gilt, wen
die Linse beiderseits plan ist, vollends wenn beide Bedingung
zusammentreffen. [48] Und doch ist es alsdann wahr[30]. E
sei nämlich das Parallelepipedon *CBE*
[in Fig. 24] ein dichtes Medium, d
Strahlen in ihm *EC* und *DB* sei
einander zugeneigt unter den gleich
Winkeln *CED* und *BDE*: sie mög
gebrochen werden in den Punkten *C*
E, *B* und *D*. Die zugehörigen ge
brochenen Strahlen *EG* und *CA* we
den nach III. parallel sein, eben
auch *DE* und *BA*, weil *CB* und *E*
parallel sind. Die Divergenz in *A*
und *AB* wird daher gleich sein de
jenigen in *EG* und *DF*. Es wer
nun *CB* durch den Kreis *CHB* ko
kav gemacht. Dadurch wird die Ne
gung von *EC* zu der konkaven Fläc
vermindert werden, wodurch auch d
Brechung vermindert wird und so au
der obere gebrochene Strahl, d. h. *CI* und auf der ander
Seite *BI*. Daher werden nunmehr weniger divergent *IC* u
IB als *EG* und *DF*. Und noch viel weniger, wenn au
ED konkav wird, weil *CE* zu der neuen Oberfläche geneig
wird. Und die zugehörigen gebrochenen Strahlen werd
divergenter als bisher *EG* und *DF*, etwa wie *EL* und *D*

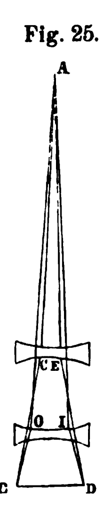
Fig. 24.

XCV. Lehrsatz. Ferne Gegenstände werden dur
eine hinreichend konkave Linse, wenn sie in eine
bestimmten Punkte vor dem kurzsichtigen Auge au
gestellt ist, deutlich zur Darstellung gebracht.

Ferne Punkte strahlen parallele Strahlen aus, nach XXI
Da nun Kurzsichtige auf nahe Gegenstände eingerichtet sin
so sind sie es auf divergente Strahlen nach XXIV und seh

ı ferne Gegenstände undeutlich. Aber konkave Linsen en, daß parallele Strahlen divergent werden, nach XC. wirken mithin, daß die Punkte, von denen die parallelen n ausgehen, scharf gesehen werden. Aber n jeder Lage der Konkavlinse. Denn der- unkt A [Fig. 25] der durch die vom Auge tferntere Linse CE Strahlen in die Pupille ges BD sendet, benutzt nur einen kleinen ır Linse CE, weil dasjenige, was er auf größeren Teil strahlt, durch allzugroße ınz vom Auge abirrt. Dahingegen benutzt e Punkt A von der näheren Linse OI größeren Teil OI, um Strahlen, die von A ın, in die ganze Pupille BD zu streuen. .er kleinere Teil CE liegt der Senkrechten nach der Linse näher als der größere .9] daher ist auch die Neigung der näheren n AC und AE zur Oberfläche geringer jenige der Strahlen AO und AI, und des- t auch die Brechung von ACB und AED r als die von AIB und AOD, nach X., ıshalb ferner die Divergenz von CB und eringer als die von IB und OD. Nun ıer jedes Auge seinen eigenen günstigen Grad von enz: also muß auch jede Linse eine besondere Lage

Fig. 25.



VI. Lehrsatz. Die Gegenstände werden durch ıvlinsen kleiner dargestellt.

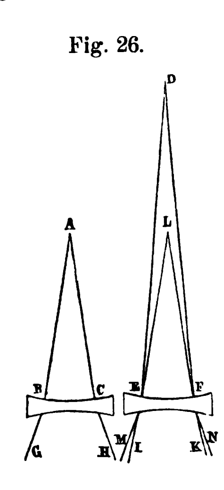
sei jetzt in der vorigen Figur 25 BD der Gegenstand das Zentrum des Auges. Da nun die von A aus- en Strahlen in der Linse CE nach auswärts gebrochen ., nach XCIV., so werden offenbar die Verbindungslinien A einen Winkel BAD einschließen, unter dem der Gegen- mit unbewaffnetem Auge gesehen würde, einen Winkel, ‹ößer ist als Winkel CAE, unter dem DB durch die E hindurch erscheint (nach LXVI), also wird der Winkel ıiner gehalten werden. Denn das Auge weiß nichts ım, was mit den Strahlen AC und AE in den Punkten E geschieht: und deshalb meint es, sie setzten sich nig fort (nach XIX); wenn dies wirklich geschähe, so ı sie nur einen Teil vom Gegenstand BD auffangen. 'assen aber nach der Brechung den ganzen Gegenstand,

also wird das Bild des Ganzen · einem Teil des Ganzen g
gemacht und ist darum kleiner als das Ganze selbst.

XCVII. Lehrsatz. Rückt die Konkavlinse w
vom Auge ab, so gelangen weniger Gegenstände d
die Konkavlinse an das Auge[31]).

A sei in Fig. 26 das Auge, *BC* die nähere Linse. F
sei *D* das Auge und *EF* die entferntere, aber der vo
gleiche Linse. Die Basis *EF* ist daher gleich der Basis
die Schenkel *DE* und *DF* sind
länger als die Schenkel *AB* und
Der Winkel *BAC* ist also größe
der Winkel *EDF*. Die Strahlen n
nun gebrochen werden, und die
hörigen gebrochenen Strahlen solle
und *CH*, *EI* und *FK* sein, nach X
es divergieren mithin immer *BG* un
stärker als *EI* und *FK*. [**50**] Es
nämlich *ELF* und *BAC* Dreiecke, w
zur Deckung gebracht werden kö
Da nun *DE* und *LE* von *D* u
herabkommen nach demselben Pu
des dichteren Mediums, so werde
nach der Brechung in *E*, sich gegen
schneiden, und *LE* wird unterhalb
oberhalb zu liegen kommen: so auc
unterhalb von *FN* (nach XI). Es diver
mithin *EM* und *FN* stärker als *EI* und *FK* und fange
halb auch ein größeres Stück der Halbkugel auf: aus dem
Grunde fangen auch *BG* und *CH*, die von der nahen
gebrochen wurden, ein größeres Stück auf als *EI* und
die von der entfernten gebrochen werden.

Fig. 26.

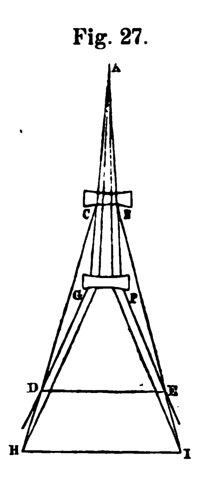


XCVIII. Lehrsatz. Rückt die konkave Linse w
vom Auge ab, so werden die Gegenstände verkle
dargestellt, solange sich die Linse nicht dem Ge
stande näher als dem Auge befindet[32]).

Denn mit dem Abrücken der Linse nimmt in gl
Weise für das Gefühl die scheinbare Größe derselbe
(nach LXVII). Aber sie erfaßt nicht in gleicher Weise w
Gegenstände, die weiter entfernt sind. Denn wiewohl sie
XCVII stets weniger Gegenstände erfaßt, so beträgt doc
Verminderung nur einen kleinen Teil sämtlicher Gegens
wofern es sich nämlich um entfernte Gegenstände handelt,

Refraktionen bei größerer Entfernung sich so gut wie
icht ändern, ebenso wie auch die Neigungen [Figur 26]
rahlen LE und DE usw. in bezug auf die Linse EF in
er Entfernung fast gar nicht geändert werden. Es kommt
dessen mehr von der scheinbaren Größe als von der
l der durch die Linse gesehenen Gegenstände in Fort-
Sie werden nämlich alle zusammen unter kleinerem
l gesehen, und deshalb auch der einzelne.
.] Oder: Es sei [Fig. 27] A das Auge und ABF und ACG
nige Strahlen, welche den Winkel FAG einschließen;
igen die nahegelegene Linse BC und desgleichen die
te FG schneiden. Sie werden also
außen in den Punkten B und C
ıen werden, nach XCIV. Die zu-
en gebrochenen Strahlen sollen BE
D sein. Da nun AF und AG in
nen größeren Teil der Linse um-
so wird auch die Brechung in FG
sein als in BC [nach XI] und so-
ie aus der Brechung in F und G
gehen, werden sie stärker diver-
als diejenigen [Strahlen], welche in
C austreten, und werden sich mit
schneiden. Dies letztere möge in
D geschehen, und die gebrochenen
n seien FE und GD. Da also
ıd GD nach dem Zusammentreffen
m Schnitt mehr nach außen kom-
ls BE und CD, so wird auch
chtbarer Gegenstand (mit Ausnahme eines solchen, dessen
ıkte mit den Schnittpunkten E und D zusammenfallen)
von der nahen als fernen Linse her gleichzeitig unter
ben Winkel BAC oder FAG gesehen werden. Denn
tände, die entfernter sind als ED, erscheinen kleiner
die entferntere Linse GF als durch die nähere CB,
ıXVI; so wird z. B. KI, welches durch die von der
Linse gebrochenen Strahlen BI und CK eingeschlossen
ıht mehr umfaßt werden durch die gebrochenen Strahlen
ıd GD, welche unter demselben Winkel FAG zum Auge
en, wohl aber von mehr nach innen gelegenen innerhalb
G, welche unter einem kleineren Winkel zum Auge A
en.

Fig. 27.



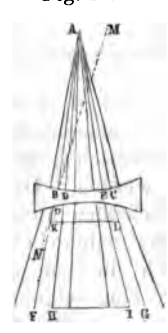
[**52**] XCIX. Lehrsatz. Eine Konkavlinse genügt entweder bei individuellem Abstand vom Auge allen Menschen zugleich zum deutlichen Sehen, oder, wenn sie ganz nahe ans Auge gebracht werden soll, wie es der Fall ist, wenn eine Brille auf der Nase sitzt, dann braucht jeder dazu seine besondere Konkavlinse[33]).

Denn nach XCV hat jede Konkavlinse einen bestimmten Abstand, je nach der Beschaffenheit des Auges, zum Deutlichsehen. Ist die richtige Wahl dieses Abstandes nicht möglich, dann muß dem Auge wenigstens die Auswahl unter den Linsen zugestanden werden, sonst wird es entfernte Gegenstände verschwommen sehen. Denn entweder ist die Konkavität der Linse nicht groß genug, um die Verschwommenheit, welche die Folge des Parallelismus der Strahlen ist, zu beseitigen, oder sie ist zu groß und erzeugt infolgedessen eine zu große Divergen und so eine Verschwommenheit, welche der vorigen entgegen gesetzt ist.

C. Lehrsatz. Linsen, welche durch zu große Konkavität in unmittelbarer Nähe des Auges die Ding verschwommen erscheinen lassen, lassen sie in einigem Abstand deutlich erscheinen, und umgekehrt.

Dies ist gleichsam die Umkehr von Lehrsatz XCV. Es mö nämlich Punkt A [Fig. 28] Strahlen aussenden gegen die Ko kavlinse BC, und deshalb werden alle Strahlen nach d Brechung unter sich divergieren, nach X und XCIV, und darum die entfernteren stärksten. Es mögen die Strahlen AB u AC nach der Brechung noch mehr dive gieren in Gestalt von BF und CG, und di Divergenz möge für das Auge allzugroß se Dahingegen mögen die Strahlen AD und A welche nachher als DH und EI noch m divergieren, für das Auge passen. Die We der Pupille sei aber HI, und diese befi sich in HI, wo sie die Strahlen von der passenden Divergenz umfaßt. Würde sie divergenten Strahlen FG umfassen, so wü sie ein fehlerhaftes und verschwommenes Se des Punktes A verursachen. [**53**] Aber w

Fig. 28.



die [volle] Weite der Pupille HI der Linse in KL nahe gebr wird, dann umfaßt sie und fängt sie die [vordem] allzu divergen Stahlen F und G auf; daher wird der Punkt A verschwom

wenn sich das Auge in KL, deutlich, wenn es sich
efindet.

**eit über die Konvex- und Konkavlinsen im be-
n; es folgt jetzt die Verbindung von Konkav-
nvexlinsen.**

Definition. Fernrohr nennt man einen dunklen
Zylinder, dessen beide Öffnungen mit durch-
en Gläsern geschlossen sind; d. h. jenes op-
Instrument, mit dem man die fernliegenden
gewissermaßen aus der Nähe erblickt.

Definition. Eine von seinen beiden Öffnungen
t sich mit ihrem Glase in einer passenden Lage
ge, die andere entsprechend zum Gegenstande.

. Postulat. Die Linien, welche durch die
der Konvexitäten und Konkavitäten gehen,
in eine einzige zusammenfallen. Dies ist not-
, damit die Gläser unter sich parallel und in
bus rechtwinklig eingesetzt sind.

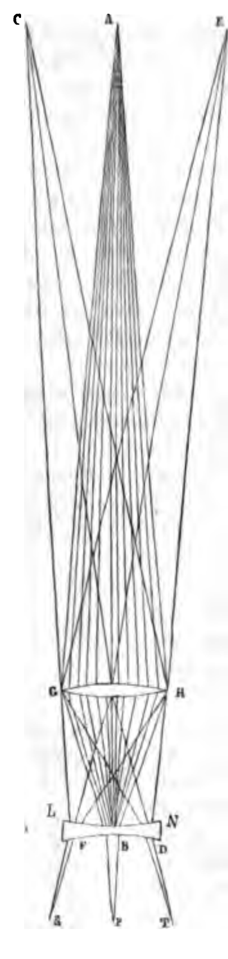
[Lehrsatz.] Fallen Strahlen, die von einem
ausgegangen und infolge des Durchgangs durch
onvexlinse konvergent geworden
ıoch vor ihrem Schnittpunkt auf
onkavlinse, [54] so wird entweder
Schnittpunkt weiter hinaus ver-
ler die Strahlen gehen parallel oder
wieder divergent weiter.

Fig. 29.

nögen nämlich [Fig. 29] NL und OM
Konkavlinse LM zu derart konvergieren,
sie sich im Punkte λ schneiden wollten.
r Brechung in L und M werden die zu
n gebrochenen Strahlen LB und MC
) des dichteren Mediums nach der an-
onkaven Oberfläche hin schon weniger
eren, als ob sie sich schneiden wollten im
), nach der Umkehr von XCII. Nach-
r LB und MC zum zweiten Male ge-
wurden in B und C, werden die zugehörigen
nen Strahlen BA und CA noch weniger
eren und schließlich sich in A schneiden.
wird der Schnitt, welcher eigentlich in λ zustande
sollte, weiter hinaus nach A verlegt. Wäre die Re-
ein wenig größer, so würden die zuletzt gebrochenen

Strahlen BA' und CA' bis ins unendliche auslaufen, ehe sie sich schneiden, nach der Umkehr von XC. Wäre endlich die erste Refraktion so groß gewesen, daß die nach δ und ε konvergierenden Strahlen $\zeta\delta$ und $\varkappa\varepsilon$ innerhalb [der Linse] parallel geworden wären als $\delta\beta$ und $\varepsilon\gamma$, so divergierten sie wieder als $\beta\zeta$ und $\gamma\varkappa$, nach der Umkehr von XCIII.

Fig. 30.



CV. Aufgabe. Gegenstände mittels einer Konkav- und einer Konvexlinse auf einem Papier abzubilden in einem größeren Maßstabe, als mittels einer Konvexlinse allein, aber umgekehrt[34]).

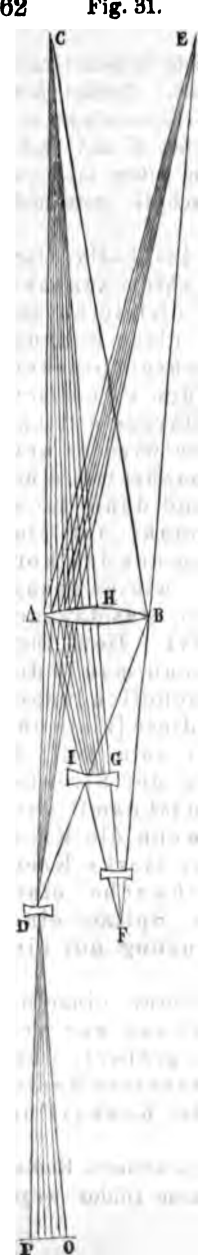
In Fig. 30 sei GH die Konvexlinse, die Schnittpunkte oder Spitzen der Lichtbüschel seien F, B und D; es werde die Konkavlinse LN dazwischengebracht, ein weniges oberhalb FBD. Dann wird der Gegenstand CAE zuerst über der Konkavlinse nahe bei DBF, aber etwas verschwommener abgebildet werden, weil die Konkavlinse die Spitzen der Büschel abfängt; auch wird er umgekehrt erscheinen, weil die Kreuzung der Büschel bereits in GH vor sich ging, und weil die Büschelspitzen sich bereits nahezu voneinander abgesondert und die einzelnen sich bereits verengert haben. Die einzelnen Büschel werden sich also bei ihrem Durchgang, nach CIV, weiterhin zu den Spitzen S, P, T formen, und dann entsteht ein deutliches Bild auf dem dort befindlichen Papier, oder die Strahlen jedes Büschels treten parallel aus, und dann verbleibt die Zeichnung in derselben geringen Verschwommenheit, [55] die sie kurz vor ihrem Eintritt in die Konkavlinse besaß, oder endlich die Strahlen divergieren, und die Büschel erweitern sich, und dann

schwimmt die Zeichnung immer mehr und mehr in dem Grade, das Papier von der Konkavlinse abrückt. Größer aber rd die Abbildung SPT als jene durch die Konvexlinse GH ein hervorgebrachte FBD, weil die Büschel F und D bei er Brechung an der Konkavlinse LN nach außen in S und gerichtet werden, nach XC., und auch nach II. stets mehr ch außen liegen werden als nach innen.

CVI. Anmerknng. Die Behauptung des J.-Baptiste orta, er sei imstande, die Sonnenstrahlen zunächst sammeln, dann ins unendliche zu dirigieren und eine Brennwirkung hervorzurufen, diese Behaup-ng, obwohl in bezug auf Spiegel ausgesprochen, heint doch auf Linsen bezogen werden zu müssen, eil er absichtlich die Sache dunkel dargestellt hat. oll sie auf Linsen bezogen werden, so wird es kein derer Kunstgriff sein, als daß er zunächst mit einer onvexlinse viele Strahlen sammelt und dann die so sammelten dicht vor dem Schnittpunkt auf eine onkavlinse auffallen läßt, damit diese aus den kon-rgierenden parallele Strahlen macht, wie es gesagt urde im Lehrsatz CV. Auch vergleiche, was dagegen orgebracht wurde unter Lehrsatz LVI. Dem füge ch außerdem noch dies hinzu: auch wenn man in den orten Portas das, was er von der unendlich langen ennlinie sagt, dahin berichtigt, daß diese [vielmehr] in beliebig verlängerter Brennkegel sein soll, in essen äußerster Spitze die Kreuzung der Strahlen ine Brennwirkung zustande bringt, so ist damit doch och gar nichts erreicht. [56] Denn wenn die Kreu-ung den Brand bewirkt, so wird eine starke Kreu-ung einen starken Brand, eine schwache einen hwachen bewirken. Aber an der Spitze eines ußerst langen Kegels wird die Kreuzung nur eine nz schwache sein[35].

CVII. Lehrsatz. Was man durch eine einzelne, icht vor das Auge gesetzte Konkavlinse nur ver-chwommen sieht, wird deutlich und vergrößert, wenn och irgend eine Konvexlinse von größerem Radius einer bestimmten Entfernung vor die Konkavlinse ehalten wird[36].

Denn nach C. geben Konkavlinsen von allzu kleinem Radius, icht vor das Auge gehalten, verschwommene Bilder wegen



allzu großer Divergenz der Strahlen.
nach LXXI bewirken die von einem
ausfahrenden Strahlen durch eine
zelne Konvexlinse verschwommenes
infolge der Konvergenz, wenn sic
Auge innerhalb vom Schnittpunkt be

Und nach CIV heben sich jene
große Divergenz und diese Konverge
in einem Tubus verbundenen
gegenseitig auf. Fällt so die Konv
fort, und ist die allzu große Div
gemildert, so folgt ein deutliches
Aber in einem bestimmten Absta
Konvexlinse vom Auge wird das Zu
Divergenz irgend einer beliebigen,
vor dem Auge befindlichen Konk
ausgeglichen. Befindet sich die K
linse aber nahe dem Auge, so i
Verbesserung dieser allzu großen
genz nur eine geringe. So befinde
in Fig. 31 die Konkavlinse in *IG*
die äußersten Strahlen *AI* und *HG*
den Teil *IG* der Linse zwischen sie
konvergieren unter dem kleinen
IFG. Die Verbesserung wird d
beträchtlich, sobald die Konvexlins
Auge abrückt. Befindet sich z.
Konkavlinse samt dem Auge nur
oberhalb von *F*, so werden die äu
Strahlen des einen Punktes *C* die S
AF und *BF* sein und denselben T
Linse mit dem größeren Winkel
zwischen sich fassen.

Größer aber muß der Radiu
Konvexlinse sein. Denn wenn der
der Konvexität gleich dem der Ko
tät wäre, so daß die Wölbung der K
linse sich der Höhlung der Konk
anschmiegte, während die beiden
Oberflächen sich fast parallel
[57] dann würden beide Linsen, unm
verbunden wie sie wären, sich gege

einigermaßen ausgleichen, und die eine die Wirkung der anderen aufheben, und dann würde auch durch [mäßiges] Abrücken der einen Linse dem Auge, welches an schlechtem Sehen in der Ferne leidet, keine oder nur geringe Abhilfe zuteil werden. Rückte man aber die Konvexlinse weit von der konkaven ab, so würden die Strahlen noch konvergenter auf die Konkavlinse fallen und von dieser nicht einmal mehr parallel, geschweige denn divergent gemacht werden können. Dasselbe würde in noch höherem Maße der Fall sein bei einer Konvexlinse von kleinerem Radius. Es bleibt demnach als geeignet nur eine Konvexlinse von größerem Radius übrig.

Endlich behaupte ich, daß das Bild vergrößert werde, wenn der Radius der Konvexität größer ist. Denn nach LXXX vergrößert eine einzelne Konvexlinse die Gegenstände. Obschon nun aber nach XCVI eine Konkavlinse, auch wenn sie allein steht, die Gegenstände verkleinert, und es wahr ist, daß sowohl eine Konvexlinse als das, was man durch sie sieht, größer ist, wenn es sich um eine einzige Konvexlinse handelt, als wenn noch eine Konkavlinse eingeschoben wird: so ist doch nach LXXXII und XCVIII diese Vergrößerung und diese Verkleinerung beträchtlicher, wenn man die Linsen weiter [voneinander] entfernt. Da nun aber die Konkavlinse dicht am Auge ist, so wird sie fast gar keine Verkleinerung bewirken, und da die Konvexlinse weiter vom Auge absteht, so wird ihre Vergrößerung beträchtlicher sein.

CVIII. Lehrsatz. Befindet sich eine Konvexlinse in beliebiger Entfernung vom Auge, und man schiebt in einem bestimmten Abstand zwischen Auge und Konvexlinse irgend eine beliebige Konkavlinse ein, die, allein für sich vor das Auge gebracht, die Gegenstände verschwommen machen würde, so erscheinen die Gegenstände deutlich; doch muß die Konkavlinse einen kleineren Radius haben als die Konvexlinse.

Es ist dies die Umkehr des vorigen, nur etwas freier. Dort war nämlich die Position der Konkavlinse dicht vor dem Auge vorgeschrieben und deshalb nicht variabel, wogegen die Position der Konvexlinse variabel war. [**58**] Hier ist die Position der Konvexlinse gegeben, aber es handelt sich nicht um eine einzig mögliche Position, sondern um verschiedene, sowohl der Quantität als der Qualität nach, wogegen die Position der Konkavlinse frei gewählt werden kann.

Zuerst möge die Qualität der Konvexlinse so gegeben sein, daß sich das Auge innerhalb des Schnittpunktes befindet: dann ist die Übereinstimmung des Lehrsatzes mit dem vorigen größer; dies ist recht eigentlich der Fall des Fernrohrs.

Dann wird also in Fig. 31 die Position der Konkavlinse und des Auges zwischen der Konvexlinse *AB* und den Schnittpunkten *D* und *F* sein, z. B. in *IG*. Das Maß der Konvergenz wird daher sicher bestimmt sein durch den Winkel *IFG*. Diese Konvergenz muß aber, damit sie das deutliche Sehen nicht hindere, entweder für das Auge des Alterssichtigen bloß gemindert werden bis zu Parallelismus der Strahlen, oder es muß sogar darüber hinaus Divergenz hergestellt werden für das Auge des Kurzsichtigen. Aber beides läßt sich bewerkstelligen nach CIV durch Einfügen einer Konkavlinse in einem Punkt vor den Schnittpunkten. Indessen muß jene Konkavlinse einen kleineren Radius haben als die konvexe. Dies wird bewiesen wie in Lehrsatz CVII. Aber auch die Konkavlinse muß, falls sie allein für sich nahe an das Auge gebracht wird, die Gegenstände verschwommen machen, weil das, was die aus Konkavität entspringende Verschwommenheit wett macht, [an sich] gleichfalls Verschwommenheit hervorrufen muß, aber aus entgegengesetzter Ursache.

Zweitens sei die Position des Auges dergestalt gegeben, daß es außerhalb der Schnittpunkte sich befindet, wi[e] wenn es in Fig. 31 in *OP* wäre, außerhalb von *D* und *F*. Dann würde eine innerhalb des Schnittpunktes *D* oder *F* befindliche Konkavlinse nach CIV bewirken können, daß kei[n] Schnitt zustande kommt, sondern daß die Strahlen wiederum divergieren und so zum Auge *OP* gelangen. Indessen sin[d] in diesem Falle viele Voraussetzungen erforderlich. Erstens muß die Konkavlinse einen kleinen Radius haben. Denn hätt[e] sie einen großen, so würden sämtliche Strahlen zwischen *A*[*D*] und *BD* nur den kleinen Teil von ihr dicht beim Lot erfassen und ihre Refraktion würde nur unbedeutend sein und nich[t] ausreichen, die Konvergenz aufzuheben. Das ist in diesem Falle ebenso wie im vorigen. Ferner, wenn die Konkavlins[e] einen so kleinen Radius hat, daß sie sogar Divergenz herbe[i]zuführen vermag, würden doch nicht alle jene divergierende[n] Strahlen zum Auge gelangen, welches weit ab außerhalb d[er] Schnittpunkte *D* und *F* seinen Standpunkt hat. [**59**] Den[n] wenn die Strahlen divergieren, so schießen sie an einem we[it] entfernten Auge vorbei. Es bleiben also nur sehr wenig[e]

ig, welche durch den äußerst kleinen Nabel [Zentralteil]
r Konvexlinse hindurchgehen (eventuell auch bei exzentrischer
ge der Linse durch einen anderen Punkt) und auf den
ersten Grund der Konkavlinse D nahe dem Lote auffallen.
se haben fast gar keine Divergenz und können als parallel
trachtet werden. Aus diesem Grunde sind sie nur den
ersichtigen dienlich. Drittens läßt diese Position nur einen
z geringen Teil des Gegenstandes bis zum Auge dringen
gen der weiten Entfernung des Auges OP sowohl von der
nvexlinse AB (nach dem Gesagten) als von der konkaven,
lche oberhalb D oder F angebracht werden muß, nach
CVII; und diesen schon so kleinen Teil noch außerdem
ter einem ganz kleinen Winkel, nach XCVIII.

CIX. Lehrsatz. In den Instrumenten, welche die
egenstände vergrößern und deutlich erscheinen
ssen, befindet sich die Konkavlinse niemals weit
von den Schnittpunkten, die hinter der Konvex-
nse liegen.

Denn sollen sie eine möglichst starke Vergrößerung her-
orbringen, so muß nach XCVIII die Konkavlinse so nahe
ie möglich am Auge sein. Die konvexe hingegen weit vom
uge ab, nach LXXXII. Deshalb auch weit von der Konkav-
nse ab; und gleichwohl ist der richtige Ort für die Konkav-
se zwischen der Konvexlinse und deren Schnittpunkt, nach
V. Wenn also die Konvexlinse weit von der konkaven ent-
nt ist, so wird sich der Schnittpunkt sehr nahe der Kon-
avlinse befinden.

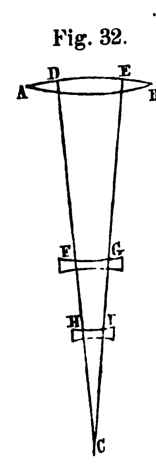
CX. Lehrsatz. Ist die Stellung der Konvexlinse
estimmt, so muß von dicht am Auge angebrachten
onkavlinsen eine mit kleinerem Radius weiter von
er konvexen abstehen und näher dem Schnittpunkte
ngebracht werden[37].

Von der Konvexlinse AB möge der Teil DE die von einem
d demselben Punkt ausgehenden Strahlen durchlassen, und
er Schnitt finde in C statt.

[60] Da nun die Konvergenz der Strahlen DC und EC
ig. 32], welche durch die einmal festgelegte Konvexlinse AB
der ihren gleichfalls festgelegten Teil DE) bewirkt wird, eine
anz bestimmte ist, so muß auch eine ganz bestimmte Korrek-
ur, nämlich Divergenz durch Konkavlinsen, angewendet werden.
Divergenz wird aber durch Brechung hervorgerufen, und gleiche

Brechung desselben Strahles, z. B. DC, kann nur an kor dierenden Stellen ungleicher Konkavlinsen stattfinden. F HI seien konkave Linsen. Und, w Teile FG und HI in demselben Ve stehen, wie die Konkavitäten ihrer zugel Linsen, aber von denselben Strahlen D EC abgeschnitten werden sollen, so wi Teil FG der größeren Konkavität zu de sprechenden HI der kleineren sich ve wie FC der größere Abstand jenes vom S punkt, zu HC dem kleineren. Wen HI weniger von C absteht als F wird dasselbe HI weiter von DE al als die andere Konkavlinse FG mit gr Radius.

Fig. 32.



CXI. Lehrsatz. Eine und di ganz nahe dem Auge befindliche kavlinse, welche mit verschie Konvexlinsen deutliches Sehe wirken soll, muß von den Sc punkten aller gleichen Abstand haben.

Denn eine einzige Konkavlinse leistet nur eine einzi hilfe; sie korrigiert nur einen ganz bestimmten Grad de vergenz. Aber bei gleichem Abstand der Konkavlinse v Schnittpunkten irgend welcher Konvexlinsen ist auch di vergenz der Strahlen die gleiche, wenigstens der St welche von derselben Konkavlinse aufgefangen werden. wenn eine von den Konvexlinsen bedeutend größer is ihre Randstrahlen stärker konvergieren: so werden dies an der Konkavlinse vorbeischießen, wenigstens an de der Linse, welcher die in ihm gebrochenen Strahlen zur des Auges gelangen läßt.

[61] CXII. Lehrsatz. Befindet sich eine Ko linse nahe dem Auge, und ist der Radius der Ko linse groß, so erfordert sie einen weiten Abstan der konkaven und dem Auge; ist der Radius kle muß jener Abstand gering sein.

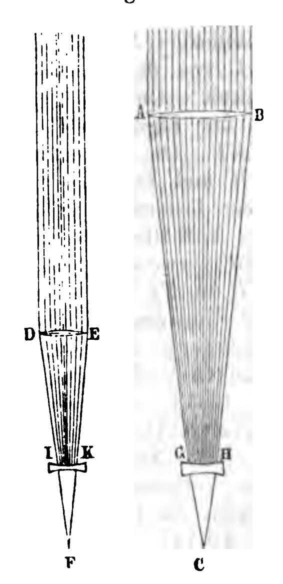
Denn nach CIX befindet sich das Auge nahe dem S punkt, und nach CXI ist die Konkavlinse, die imm derselben Art ist, von den Schnittpunkten aller konvexe weit entfernt. Aber die Entfernung der Schnittpunkte v zugehörigen Konvexlinsen ist ungleich. Denn von den K

linsen mit großem Radius ist der Schnittpunkt weit ab, von denen mit kleinem weniger weit, nach XXXIX. Da aber Gleiches von Ungleichem abgezogen, Ungleiches übrig läßt, und da der Zwischenraum zwischen der Konvex- und Konkavlinse bei gleichbleibendem Abstand der Schnittpunkte von der Konkavlinse kleiner ist, als jener Zwischenraum zwischen der Konvexlinse und dem Schnittpunkt, so wird die Konkavlinse (samt dem Auge) weiter von der Konvexlinse abstehen, wenn letztere einen großen, als wenn sie einen kleinen Radius hat.

CXIII. Lehrsatz. Ist die Konvexlinse gegeben, so bewirkt eine Konkavlinse von kleinerem Radius ein größeres Bild als eine von größerem Radius[38]).

Denn nach CX müssen Konkavlinsen von kleinem Radius samt dem Auge, dem sie sehr nahe sind, weiter von der Konvexlinse abrücken, wenn scharfes Sehen erreicht werden soll. Aber nach LXXXII sieht das Auge die Gegenstände um so größer, je weiter es von der Konvexlinse nach dem Schnittpunkt hin zurückweicht. Daher sieht das Auge durch eine Konkavlinse von kleinerem Radius die deutlich gesehenen Gegenstände größer als durch eine Konkavlinse von größerem Radius.

Fig. 33.



CXIV. Lehrsatz. Rückt die Konkavlinse nur ein wenig von der Konvexlinse ab, so vergrößert sie die Gegenstände stark[39]).

Denn nach CIX [Fig. 33] befinden sich [die Linsen] *GH* und *IK* sehr nahe den Punkten *C* und *F*. Wird aber der kleine Zwischenraum *IF* durchschnitten und das Auge in *F* gedacht, so wächst die Größe des einen einzigen Punktes, von dem alle Strahlen in *DE* ausgehen, [62] zu einer gewissen Größe an, welche gleich ist der ganzen Linse *DE*, so daß der Punkt unter dem Winkel *DFE* gesehen wird, was eine unendliche Vervielfältigung ist. So wird durch einen geringen Umstand etwas Großes geleistet.

CXV. Lehrsatz. Befindet sich eine Konkavlii sehr nahe dem Auge, so bringt die Konvexlinse v kleinerem Radius kleinere Bilder hervor als die v größerem Radius.

Es sei [Fig. 33] *AB* eine Konvexlinse mit dem größe Radius *AC* und Linse *DE* eine mit dem kleineren Radius *l* Es werden also *C* und *F* die Schnittpunkte sein, nach XXX Es möge beiderseits eine Konkavlinse *GH* und *IK* zugef werden, welche, dicht vor das Auge gesetzt, jede mit ein bestimmten Teile eine bestimmte Divergenz der parallel a fallenden Strahlen verursachen möge. Da es sich nun in bei Fällen *GH* und *IK* um die gleiche Konkavlinse handelt, wird sie sich in der gleichen Position zu den Schnittpunk befinden, nach CXI. Das Auge befindet sich der Annahme folge auf beiden Seiten sehr nahe der Linse. Nachdem a die beiden gleichen Spitzen *GC* und *IF* abgetragen sind den ungleichen *AC* und *DF*, werden die übrigbleibenden und *DI* in einem größeren Verhältnis stehen. Es wird da die Konvexlinse *AB* in ihrem Verhältnis stärker von der K kavlinse *GH* und dem Auge abgerückt, als die Konvexli *DE* von der Konkavlinse *IK* und dem Auge in ihrem V hältnis. Und *GH* samt dem Auge ist relativ näher an *C* in der Figur *ABC*, als *IK* samt dem Auge zu *F* in Fi *DEF*. Die Gegenstände werden daher größer dargestellt du *AB* und *GH* als durch *DE* und *IK*, nach LXXXIII. I zwar bedeutend größer infolge einer ganz kleinen Änder des Verhältnisses, nach CXIV. Dieser wichtige Lehrsatz sehr verwickelt, und zwar deshalb, weil, wenn das Verhäl *DF* zu *FI* gleich gewesen wäre dem von *AC* zu *CG*, d der Umstand, daß *AG* länger ist als *DI*, nichts zur V größerung der Gegenstände beigetragen hätte. Alles w nämlich beiderseits gleich gewesen, nach LXXXIII.

CXVI. Aufgabe. Die Gegenstände beliebig g darzustellen.

[**63**] Nach CXIII und CXV werden durch Vergrößer des Verhältnisses der Radien der Konkavität und der K vexität die Gegenstände vergrößert[40].

CXVII. Aufgabe. Durch ungleichen Linsenabsta d. h. also durch ungleich lange Rohre die Gegenstä in gleicher Vergrößerung darzustellen.

Man bewirke (nach CXIII und CXV), daß dasselbe V hältnis herrsche sowohl zwischen den Konkavitäten und

Konvexitäten unter sich, als zwischen den Abständen der Linsen, indem die konvexen unter sich selbst ungleich sein müssen.

CXVIII. Aufgabe. Mit kürzeren Tuben stärkere Vergrößerungen herzustellen.

Wenn die Konvexlinse den kleineren Radius hat, und das Verhältnis zwischen der Konvexität und der Konkavität größer ist als in einem längeren Instrument, dann vergrößert das kürzere Instrument die Gegenstände stärker (nach CXIII und CXV).

CXIX. Lehrsatz. Ist die Konkavlinse gegeben, so werden die Gegenstände klarer oder kräftiger mit einer größeren oder breiteren Konvexlinse hervorgebracht, als mit einer kleineren[41]).

Denn von einem Punkt aus (Fig. 33) wird mehr Licht ausgestreut durch den größeren Umfang von AB als durch den kleineren von DE. Dies gesamte Licht wird aber nach dem einen Punkt C oder F gezwungen. In C ist mithin die Zeichnung kräftiger als in F, und das Auge erhält in GH dichter gedrängte Strahlen als in IK.

Die Größe der Linse bezieht sich aber hier, nach XXX, auf den Körper der Linse, nicht auf die Oberflächen.

CXX. Lehrsatz. Ist die Konvexlinse gegeben, so werden die Gegenstände deutlicher und kräftiger zur Darstellung kommen durch eine Konkavlinse von größerem als von kleinerem Radius[42]).

[**64**] Denn eine kleine Linse dicht vor dem Auge bewirkt nur mittels eines kleinen Teiles ihrer selbst eine richtige Divergenz der Strahlen. Wenn daher auch viele Strahlen von einem Punkt aus auf jene fallen und von einem großen Teile der Konvexlinse herkommen, so irren doch die meisten davon durch die allzugroße Refraktion, welche die Seitenteile oder der Rand der Linse verursacht, von dem Auge ab (wie in Fig. 28 FG von der Weite der Pupille HI); es gelangen also nur wenige dem Lot nächstliegende Strahlen in das Auge, welche mithin nur von einem kleinen Bezirk der Konvexlinse herkommen: deshalb (nach CXIX) ist das Sehen durch eine Konkavlinse von kleinem Radius nur schwach. Dasselbe geschieht auch, wenn von einer Konkavität von großem Radius nur ein kleiner Teil zur Wirkung kommt, der kleiner als die Pupille ist.

CXXI. Lehrsatz. Der zentrale, dem Lot unmittelbar benachbarte Teil des Stückes einer Halbkugel, welches durch Linsen betrachtet wird, erscheint klarer und kräftiger als der Rand ringsherum[43]).

Der zureichende Grund erhellt aus Fig. 14, in der *QG* die Weite der Pupille bezeichne. Befindet sich nämlich das Auge, unbewaffnet oder mit vorgesetztem Konkavglas, in *QG*, so empfängt es vom Punkt *E* alle Strahlen zwischen *EAQ* und *EBG*, vom Punkt *C* aber nicht alle, sondern von dem Büschel *CAFBC* nur einen Teil, nämlich alles zwischen *CAI* und *CHG*; was zwischen *CHG* und *CBF* fällt, irrt von der Pupille *QG* ab. Wenn daher *E* durch *AB*, *C* aber durch *AH* gesehen wird, so wird nach CXIX. *E* klarer und kräftiger gesehen werden, als *C*.

CXXII. Lehrsatz. Die Gegenstände erscheinen durch einen kleinen Teil der Konvexlinse unter sonst gleichen Umständen deutlicher, durch einen breiten verschwommener[44]).

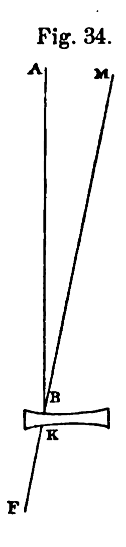
Denn was durch einen großen Teil der Konvexität ins Auge strahlt, das strahlt nach CXIX kräftiger, und durch diese Kraft werden erstens die Regenbogenfarben und dann die Nebel hervorgerufen. Die gewölbte und netzförmige Haut des Auges ist aber voll Sehstoff, und wird sie auch nur von einem Punkte berührt, so wird doch der Sehstoff, wenn dieser Punkt durch den Schnitt zahlreicher Strahlen unverhältnismäßig stark leuchtet, in einiger Ausdehnung [65] um diesen Punkt der Netzhaut herum durch Übertragung der eindringenden Veränderung affiziert; siehe LXI. Daher wird im rechten Maße für Auge und Instrument und für das Licht des Tages oder der Nacht, die Konvexlinse entweder erweitert und aufgedeckt oder verengert und zugedeckt; dadurch, daß entweder gleich vorn oder an einer Stelle zwischen den Linsen eine durchbohrte Scheidewand angebracht oder der Hals des Instrumentes nach innen gebogen und verengert wird, oder dadurch, daß das Rohr über die Konvexlinse hinaus verlängert wird, so daß seine Zylindermündung weiter absteht und deshalb nach LXVII unter kleinerem Winkel gesehen wird und genau so wirkt, wie eine engere. Die Natur hat dies vorgemacht durch die Erweiterung der Uvealöffnung bei nächtlichem und ihre Verengerung bei Tageslicht. Das Diaphragma hat auch den Nutzen, daß es innen Dunkelheit bewirkt, wozu gleichfalls die Schwärzung des Inneren dient und ebenso die trompetenförmige

estalt, deren Seiten sich nach vorn zu auswärts biegen, der Mitte nach innen, so daß die Strahlen, wenn sie bis die Nähe der Konvexlinse eingedrungen sind, nicht wieder n- und hergeworfen werden, sondern Deutlichkeit verursachen. demselben Zweck dient auch eine Verlängerung des Rohrs it über die Konvexlinse hinaus, damit nicht die Konvexlinse n den Seitenteilen des Gesichtsfeldes bestrahlt werde.

CXXIII. Aufgabe. Den Gegenstand oben, unten, ur rechten oder zur linken, und wo man sonst will, u sehen.

Dies geschieht, wenn der Durchmesser der Konkavlinse weiter als die Pupille des Auges und hinreichend groß ist, um as Auge von der Linsenmitte seitwärts hinreichend auszuweichen zu lassen. [66] Denn die Büschel erden am Rande der Konkavlinse sämtlich und war] schief gebrochen: auf der linker Seite nach nks, auf der rechten nach rechts. Es sei nämlich in der Figur 34 *ABKF* die in das Zentrum er Pupille kommende Mittellinie des Büschels. ie wird in den Punkten *B* und *O* nach außen ebrochen zur linken, weil *BO* der linke Teil er Linse ist. Hat sich das Auge also von der itte der Linse nach deren linken Seite *O* beegt, so wird es den in der Richtung der Geaden *NOM* gesehenen Punkt *A* mehr in einer ach rechts gelegenen Lage *M* befindlich glauben, ach XIX.

Fig. 34.



CXXIV. Aufgabe. Die Vergrößerung ines Bildes kunstgerecht abzuschätzen.

Das linke Auge richte man unbewaffnet auf en Gegenstand; das rechte aber blicke denelben durch die Linsen an. Da nun das linke uf den Gegenstand gerichtet ist, das rechte ber dem linken unwillkürlich immer parallel bleibt, wenn es erdeckt wird, wie hier von dem Instrument, weil die Parallelstellung der Augen die natürliche ist, nach LVII, so wird as rechte auf den Gegenstand gleichsam von selbst gerichtet ein, sei es, daß ihm das vom Instrument gelieferte Bild niedriger oder höher scheine, als der Gegenstand, welcher vom inken Auge gesehen wird. Denn nach LXII wird das rechte Auge zwar das vergrößerte Bild des Gegenstandes sehen, auf welchen es selbst durch die Assoziation mit dem linken

gerichtet wird, aber es wird ihn gleichwohl nicht imm dem entsprechenden Teil seiner Netzhaut sehen, mit w ihn das linke sieht.

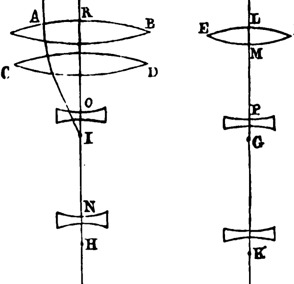
Wenn die Bilder ihrer Lage nach nicht übereinst so kann man es doch durch leichtes Hin- und Herb der Konvexlinse des Instrumentes, oder auch durch Veränderung der Stellung der Konkavlinse zum Auge u dahin bringen, daß beide Bilder ein und desselben standes zur Deckung kommen. Dann wird der Übersch einen über das andere durch die gegenseitige Überlager tage treten.

Bis hierher von dem einfachen Instrument: e die *χρυψις*[45].

[67] CXXV. Lehrsatz. Ist die Konkavlinse ge und setzt man zwei gleichstarke Konvexlins Stelle einer einzigen dicht aneinander, so br das Instrument etwa nur halb so lang zu sein, v einer einzigen der beiden Konvexlinsen; gleic wird das Bild kleiner.

AB und *CD* seien zwei gleiche Konvexlinsen, u Zentrum des Kreises *ARB* sei *H*. Der Halbmesser in *I* halbiert. Ist al eine Konvexlinse *AB* vor so wird der Schnittpunk fähr in *H* liegen, nach I Und deshalb wird die K linse nicht weit von *H* e zu setzen sein, nach CI

Fig. 35.



Ich behaupte nun wenn *CD* ganz nahe gesetzt wird, die Konl innerhalb von *I* angebrac den muß. Das bewe zunächst mit ganz ei Mitteln.

Die in *AB* gebr parallelen Strahlen zieler der Brechung nach *H*, aber von *CD* abgefan *CD* wiederum gebrochen und schneiden sich deshalb in I Entfernung. In *CD* erleiden sie eine stärkere Brech in *AB*, weil sie hier schiefer auffallen, denn in *A*

arallel, in CD aber bereits konvergent auf. Hieraus geht
r, daß der Schnitt um vieles näher erfolgen wird, und
deshalb auch die Konkavlinse den konvexen AB und CD
ert werden muß, nach CIX. Es geht weiter daraus
r, daß die Konkavlinse nach innen, vom Punkt I aus
hnet, gebracht werden muß, welcher den Halbmesser HR
Konvexität AB halbiert. Es sei nämlich GL der Hälfte
HI gleich, und mit diesem Halbmesser des Kreises werde
Linse EF mit den Konvexitäten ELF und EMF her-
lt, und LG sei gleich GK. Dann folgt aus LXXIX,
beim Vorhandensein einer einzigen Oberfläche EMF diese
gleichen Wert wie zwei AB haben und bewirken würde,
sich die Parallelen in K schneiden, welches ebenso weit
EF absteht, wie der Schnittpunkt H von AB. Aber die
EF hat zwei solcher Oberflächen. Und wie sie mit
Oberfläche EMF beide Konvexitäten von AB zusammen
t, so ersetzt sie mit der anderen Oberfläche ELF beide
exitäten von CD zusammen, weil AB und CD gleich
ebenso wie auch ELF und EMF. [68] Aber die auf
n Seiten konvexe Linse EF bewirkt den Schnitt der
lelen im Zentrum G, nach XXXIX, d. h. im Abstande
welcher gleich dem halben Radius von AB ist. Deshalb
gen auch die beiden unmittelbar aneinandergelegten Linsen
und CD die Parallelen ungefähr nach dem Punkt I, d. h.
halbe Entfernung dieses Radius. Die Konkavlinse aber
nach CIX. innerhalb vom Schnittpunkt gesetzt werden,
innerhalb von I.

ch behaupte ferner, daß auch das Bild mittels zweier an-
dergelegten Konvexlinsen AB und CD kleiner ausfällt
nittels der einen AB.

enn da in beiden Fällen nur eine Konkavlinse vorhanden
so wird sie auch nur ein und dieselbe Divergenz der
len bewirken. Sie wird daher denselben Abstand vom
ttpunkt H der einzigen Linse AB haben, als von dem
ttpunkt I, der von beiden AB und CD zugleich hervor-
cht wird, nach CXI; dieser Abstand sei HN, IO und
Aber der gleiche Teil hat zur Hälfte von IR ein
res Verhältnis als zum Doppelten von HR. Deshalb
AB und CD zusammen verbunden dem Punkt O näher
EF, welche jenen [beiden zusammen] gleichkommt, näher
im Verhältnis zu seinem Halbmesser LG) als AB für
an N im Verhältnis zu seinem RH. EF stellt daher die

Gegenstände mit Hilfe der Konkavlinse in P kleiner dar.
AB allein durch dieselbe Konkavlinse in N, nach LXX
deshalb auch beide, AB und CD, zusammen kleiner al
einzige AB.

CXXVI. Lehrsatz. Eine einzige konkave Oberfl
von kleinem Radius leistet in der Zerstreuung
Auseinanderzerrung der Strahlen ungefähr dass
wie zwei konkave Oberflächen von doppelt so gro
Radius.

Beweis folgt aus LXXIX und III.

CXXVII. Lehrsatz. Zwei aneinanderstoßende I
kavlinsen brauchen einen nur wenig größeren Abs
von der Konvexlinse zur Erzeugung ganz deutli
Sehens, als eine von ihnen allein; aber sie bewi
eine beträchtlichere, nahezu doppelte Vergröße
des abgebildeten Gegenstandes.

[69] Denn die parallelen Strahlen, durch die Konve
konvergent gemacht, fallen konvergent auf die Konkav
durchsetzen sie und fallen, die Schnitte vermeidend, wied
divergent auf das Auge, nach CVII; es wird nämlich ei
strument und in ihm eine geeignete Stellung der Konka
vorausgesetzt. Nun aber fängt die zweite Konkavlinse, zwi
dem Auge und der ersten Konkavlinse befindlich, die c
gierenden Strahlen auf und bewirkt, daß sie nach ihrem D
gang noch stärker divergieren, nach XCIV. Sie schädigen
durch das Übermaß der Divergenz und verursachen
schwommenheit, nach XCV und XCIX. Man wird dahe
entgegenwirkende Konvergenz der Konvexlinse steigern mt
damit sich die Fehler gleich werden und sich gegenseitig
heben, nach CIV. Gesteigert wird aber die Konvergenz
die aus ihr herrührende Verschwommenheit, wenn die Ko
linse weiter vom Auge abrückt, welches sich innerhalb
Schnittpunkt befindet, nach LXXI. Deshalb müssen zwei
einander und nahe dem Auge befindliche Konkavlinsen v
von der Konvexlinse abstehen, als nur eine. Auch ko
nach CXXVI zwei Konkavlinsen von größerem Radius
einzigen von kleinerem in ihrer Wirkung gleich. Aber
CX steht die Konkavlinse von kleinerem Radius weite
der [Konvex-] Linse ab, als eine einzige Konkavlinse von gr
Radius. Deshalb stehen auch zwei Konkavlinsen von gr
Radius weiter [von der konvexen] ab, als eine von
allein.

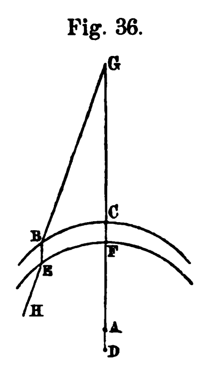
›ehaupte ferner, daß die Gegenstände größer durch
durch eine nahe dem Auge befindliche Konkavlinse
t werden. Dies wird bewiesen (wie das vorherige)
I und CXXVI.

eine nur ganz geringe Vergrößerung des Abstandes
›inen großen Zuwachs der Bildgröße, nach CXIV.

/III. Lehrsatz. An einer Linse, welche mit
n Radius auf der einen Seite konvex, auf der
konkav ist, werden alle Strahlen, welche
lb des Körpers parallel zum Einfallslot ver-
an beiden Oberflächen unter gleichen Winkeln
en und behalten nach der Brechung die ur-
iche Divergenz oder Parallelität bei.

Es habe die Linse [Fig. 36] die konvexe Oberfläche
dem Zentrum A und die konkave Oberfläche EF mit
trum D. Die Gerade DA gehe
›se Zentra, indem sie die Ober-
n F und C senkrecht schneidet.
werde eine beliebige Paral-
ogen, welche die Oberflächen
45a), z. B. BE. Es wird nun
ch bewiesen, besonders von
› und den Astronomen, daß so-
' und BE als CB und FE gleich
erner ist die Neigung von BE
der beiden Oberflächen die näm-
› ist zu den Tangenten der Ober-
den Einfallspunkten B und E.
se Tangenten sind parallel. Des-
l auch die Refraktion die gleiche

Fig. 36.



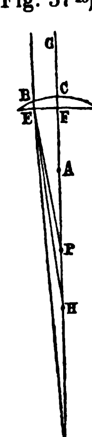
auch die am dichten Körper gebrochenen Strahlen wer-
beiden Seiten parallel sein, wie BG und EH. Es ist
Divergenz oder Konvergenz beim Austritt EH die
'ie beim Eintritt GB vorhanden: sobald nämlich BE
innerhalb des Körpers parallel sind.

X. Lehrsatz. Strahlen, die von einem Punkt
eine gleichzeitig konvexe und konkave Linse
nselben Radius) fallen, sind nach dem Durch-
rch die Linse in geringem Grade konvergent,
r Punkt weit ab liegt, divergieren aber stärker
nfang, wenn der Punkt näher als einen Durch-
der Oberfläche sich befindet.

Die Strahlen, welche von einem fernen Punkt au sind nämlich parallel, nach XXIII. Parallele Strahlen die in einen dichteren, konvexen Körper eindringen vergieren innerhalb des dichten Körpers, nach XXXIV.

G sei [Fig. 37] ein fern gelegener Punkt, und *G* *GC* parallel, und *BE* und *CF* konvergent. Es wird *EF* kürzer als *BC* sein. Die Inzidenz vc wird daher in *EF* eine weniger schiefe s in *BC*. Deshalb die Refraktion in *G* g als in *B*. Infolgedessen ist der Winkel größer als *BEH* und *GB* nicht parallel z Nun wird *GB* und *GC* parallel nach Vorauss Deshalb konvergieren *EH* und *FA* na Brechung und schneiden sich schließlich.

Fig. 37[46]).



Dagegen sei jetzt der strahlende Pu näher als die Länge eines Durchmessers de fläche, dann werden die Strahlen *GB* u divergieren. Sie werden zwar nach ihrem in den dichteren konvexen Körper weniger gieren, aber doch immerhin divergieren XXXVII.

[71] Da also *BE* und *CF* gegen di kave Grenzfläche *EF* des dichten Körpers gieren, so wird *EF* größer als *BC* sein Inzidenz von *BE* in *E* wird deshalb schiefer in *B* und daher die Refraktion dort größer a Der Winkel *GBE* wird kleiner, der Winkel *BEH* größ und deshalb sind *GB* und *EH* nicht parallel, sond würden sich schneiden, wenn sie nach *H* zu ve würden. Die gebrochenen Strahlen *EH* und *FA* gieren also stärker voneinander als die ursprünglich und *GC*.

CXXX. Lehrsatz. Hat die konkave Ober einen größeren Radius als die konvexe, so k gieren die von einem fernen Punkt ausgeh Strahlen nach dem Durchgang durch die Linse zwar stärker (oder nach einem kürzeren Abstan wenn bloß die konvexe Oberfläche vorhanden ge wäre), wenn der Radius der Konkavität größer das Dreifache des Radius der Konvexität; in ge Grade (und nach einem größeren Abstande), w kleiner als das Dreifache war.

Oder:

Indem die Konkavität von größerem Radius die vexität von kleinerem abschwächt, wird die Wirg einer Konvexität von sehr großem Radius hergebracht. Solche Linse möge Meniskus genannt den. Sie wirkt wie eine reine Konvexlinse.

CF und *BE* [Fig. 37] mögen gebrochene Strahlen inner- des Körpers sein, und herkommen von dem fernen Punkt Sie werden also nach *EF* hin konvergieren, nach XXXIV. lgedessen wird *EF* kleiner sein als *BC*. Aber gleichzeitig der dazu gehörige Kreis größer. Daher fällt *BE* weniger f in *E* ein als in *B*, und deshalb wird auch die Refrak- in *E* kleiner sein als in *B*. Folglich ist Winkel *BEH* ßer als *EBG*. Deshalb sind *HE* und *BG* nicht unter sich allel, sondern würden sich in der Verlängerung schneiden, so werden *EH* und *FH* unter sich nach *H* hin konverren.

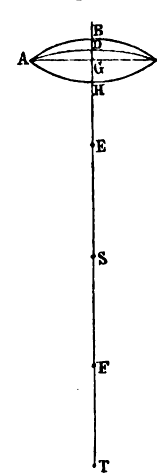
[72] Es sei nunmehr *A* [Fig. 37] das Zentrum des Kreises und *CH* das Dreifache von *CA*. Und unterhalb *H* befinde der Punkt *R*. Wäre *BC* allein vorhanden, dann würden und *CF* auf *H* konvergieren, nach XXXIV. Ferner sei *R* Zentrum des Kreises *EF*. Nachdem das Lot *ER* gezogen wird *BE* von *ER* fortgebrochen (nach II) und schneidet mit *CH* oberhalb von *H*, in *P*. Daher konvergieren *EP* *FP* stärker als *BE* und *CF*; und der Abstand *CP* des nittpunktes *P* ist kleiner als *CH*. Andererseits liege der telpunkt des Kreises *EF* oberhalb von *H*, z. B. in *P*, und ogen sei das Lot *EP*; dann wird der Strahl *BE* in *E* von Lot weiter abgebrochen werden als *EH*, nach II., und d sich nach der Brechung mit *FH* unterhalb *H* schneiden; r Schnittpunkt sei *R*. Daher wird die Divergenz von *ER* d *FR* geringer sein, als die von *BE* und *CF*, und der nittpunkt *R* wird in den Abstand *CR*, der größer ist als *H*, hinausgeschoben. Befindet sich das Zentrum von *EF* in , anderthalb Durchmesser unterhalb *C*, so fällt auch der hnittpunkt in *H*, und es hat *EF* weder einen fördernden, ch hemmenden Einfluß auf *BC*.

CXXXI. Lehrsatz und Aufgabe. Den Schnittpunkt r einen Meniskus zu finden. Oder: je dünner die inse ist, um so weiter rückt der Schnittpunkt ab.

ABCD [Fig. 38] sei der Meniskus und *E* und *F* die Zentren. Würde die Konvexität von *ABC* allein die Brechung bewirken,

so würde der Schnittpunkt drei Halbmesser BE entfernt nach XXXIV. Sie tut dies aber [so gut wie] allein, we Kreis der Konkavität ADC das Dr von dem der Konvexität ABC beträg ist, wenn BF dreimal so groß ist, al Weil nämlich der Schnittpunkt drei Halb BE entfernt ist, so würde auch der S punkt im Zentrum F des Kreises AD [**73**] weil die Strahlen bei ihrem Durc durch den Körper ABC alle senkrec ADC auftreffen würden; sie würde nicht gebrochen werden. Der Schni der Linie $ABCD$ liegt also drei messer ab.

Fig. 38.



Ist aber die Linse auf beiden Seiten konvex, wie ABC und AHC, so li Schnittpunkt einen Halbmesser BE entfernt, in E, nach XXXIX.

Drittens, wenn die Linse $AGCH$ in plan ist, so werden die Parallelen in gar nicht gebrochen und sich in eine fernung von zwei Halbmessern (nach schneiden, in S.

Viertens, wenn man zwei Linsen zusammenlegte, wü Schnittpunkt um die Hälfte von EB entfernt sein, nach

Aus diesen Fällen geht nun hervor, daß die Ent des Schnittpunktes sich ungefähr in dem Verhältnis verg in dem die Dicke BD der Linse gemindert wird. Den die Dicke zweimal BH beträgt, dann wäre der Abstand di von BE. Beträgt jene einmal BH, so ist dieser einm beträgt jene die Hälfte, nämlich GH, dann ist jener z BE, nämlich BS. Ferner, wenn von GH oder BG weniger als der dritte Teil abginge, so kommt dadurch zwei Halbmessern BE und ES noch der dritte SF hi

Daß aber DG weniger als der dritte Teil von B GH ist, wird folgendermaßen bewiesen:

Es ist $BE = r$; $BF = 3r$; $AE = r$; $AF = 3r$. Be man Winkel AEG mit α und Winkel AFG mit α_1,

$$1)\quad GB = r - EG,$$
$$= r - r \cdot \cos\alpha,$$
$$= r(1 - \cos\alpha),$$

2) $AG = r \cdot \sin\alpha = 3r \cdot \sin\alpha_1$; daraus

$$3 \sin\alpha_1 = \sin\alpha,$$
$$\sin\alpha_1 = \tfrac{1}{3}\sin\alpha,$$

3) $GF = 3r \cdot \cos\alpha_1$,

$$DG = 3r - 3r \cdot \cos\alpha_1,$$
$$= 3r(1 - \cos\alpha_1).$$

[Set]zt man nun zunächst $\alpha = 30^0$, so wird $\sin\alpha_1 = \frac{1}{6}$; also

$$\alpha_1 = 9^0\, 36'$$

[u]nd ferner:

$$\cos\alpha = 0{,}866\,0254,$$
$$1 - \cos\alpha = 0{,}133\,9746,$$
$$1\text{a)}\quad GB = 0{,}133\,9746 \cdot r.$$

Da $\cos\alpha_1 = 0{,}985\,9962$ und $1 - \cos\alpha_1 = 0{,}014\,0039$ [is]t, so wird die Gleichung 3) zu:

$$3\text{a)}\quad DG = 0{,}014\,0039 \cdot 3 \cdot r = 0{,}042\,0117 \cdot r.$$

[D]araus ergibt sich:

$$GB : DG = 0{,}1339\,746 : 0{,}042\,0117$$

[al]so

$$> 3 : 1.$$

[4]] Die entsprechenden Werte für $\alpha = 30'$ sind:

$$2\text{b)}\quad \sin\alpha_1 = \tfrac{1}{3}\sin 30',$$
$$\alpha_1 = 10',$$
$$1 - \cos 30' = 0{,}000\,0381,$$
$$1\text{b)}\quad GB = 0{,}000\,0381 \cdot r,$$
$$\cos\alpha_1 = 0{,}999\,9959,$$
$$1 - \cos\alpha_1 = 0{,}000\,0041,$$
$$3\text{b)}\quad DG = 0{,}000\,0041 \cdot 3r,$$
$$= 0{,}000\,0123 \cdot r,$$

[w]oraus:

$$GB : DG = 0{,}0000381 : 0{,}0000123,$$
$$> 3 : 1\,*).$$

*) Die Rechnung Keplers ist hier modernisiert worden, um [d]em Leser die heute schwer verständliche Verwendung des sinus [t]otus, sinus versus usw. zu ersparen. Doch sind die trigonometri[s]chen Tabellenwerte Keplers beibehalten worden, obwohl die

Also in dem Grade als die Linse geschwächt wird, :
Grade vergrößert sich ungefähr der Abstand des Schnittpı

CXXXII. **Lehrsatz.** **Wenn die Konkavität kleineren Radius hat als die Konvexität, dann (gieren die Strahlen, welche von einem Punkt ausg der einen Durchmesser vor der Konvexität liegt, dem Durchgang durch die Linse stärker. Odeı dem die Konvexität von größerem Radius, die kavität von kleinerem abschwächt, wird das erreicht, wie von einer Konkavität mit sehr gr Radius.**

Denn die im Körper verlaufenden Strahlen *CE* un [Fig. 39], welche vom Punkt *G* kommen, sind, wenn einen Durchmesser von der Konvexität a parallel, nach XXXV. Deshalb schneiden : konkave Oberfläche *EF* schiefer als die k *CD*; das übrige wie in CXXIX. Ist *G* näl divergieren *CE* und *DF* innerhalb des Körp *EF* zu, nach XXXVII, noch mehr aber die Luft gebrochnen Strahlen *EH* und *FB*, nach

Fig. 39.

[75] CXXXIII. **Lehrsatz: Wenn die K vität einer Linse, deren andere Oberf konvex ist, ihren Mittelpunkt nach inne dem der Konvexität liegen hat, so w auch die von einem fernen Punkt kon den Strahlen durch die Linse dive gemacht. Sie kommt einer rein konl Linse von sehr großem Radius gleich·**

Denn ist der Punkt *G* fern, so sind d ihm ausgehenden Strahlen *GC* und *GD* paralle XXIII. Also werden *CE* und *DF* innerha Körpers konvergieren, nach XXXIV, als sich schneiden wollten im Punkte *HH*, welcher and(Durchmesser der Konvexität entfernt ist. Würde nun u Zentrum *B* der kleinere Kreis durch *E* beschrieben, so \ *EB* und *FB* einen verhältnismäßig größeren Teil des

---

neueren Tafeln schärfere Werte geben. *Kepler* will beweise $GB : DG > 3 : 1$ ist, wenn der Bogen *AB*, d. i. der Winkel Größe 30° nicht übersteigt. Einen gültigen Beweis liefert e: sondern begnügt sich, rechnerisch darzulegen, daß seine Beha an den Grenzen, etwa: $\alpha = 30^\circ$ und $\alpha = 30'$, stimmt. Wir \ Keplers Rechnung wie oben schreiben. O.-L. Dr. Tro:

schneiden als es CD von seinem Kreise ist. Dies ist klar; ...wenn CE nach HH zu gerichtet ist, so liegt der Punkt unterhalb der Linie CB. Erst CB (und nicht CHH) würde ...liche Teile abschneiden. Um noch viel mehr wird also ...F dann ein verhältnismäßig größerer Teil seines Kreises sein, ...m dessen Zentrum oberhalb B, etwa in A liegt. Weil also ...r Teil EF größer ist als CD, so ist auch die Neigung von ...E zu EF größer als zu CD. Die Refraktion in E nach ...ßen ist deshalb auch größer, nach II, als die in C nach ...nen, auf BDG zu. Deshalb sind GC und EH nicht parallel. Und da GC und GD nach Voraussetzung parallel sind, so werden ihre zugehörigen in E und F an der konkaven Grenzfläche des dichten Körpers gebrochnen Strahlen DB und EH divergieren.

CXXXIV. [Lehrsatz.] Verschiedenartige, reine Linsen aufeinandergelegt kommen in ihrer Wirkung einer gemischten Linse gleich und schließlich auch einer reinen.

Beweis ungefähr wie in CXXV. Es sei nämlich, Fig. 40, OP eine konvexe und QR eine konkave Linse, und es werden die beiden konvexen Oberflächen von OP in eine einzige konvexe ST, Fig. 41, übertragen, nach LXXIX.

Fig. 40.

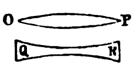


Fig. 41.



Man mag aber auch nach CXXVI die beiden Konkavitäten von QR in eine einzige VX übertragen, und so entstehe die Linse $STXV$ von gemischter Art. Hat nun die die Konkavität VX das Übergewicht, wenn nämlich ihr Radius der kleinere ist, dann wirkt die gemischte Linse wie eine reine konkave, nach CXXXIII. Und so wirken OP und QR, die von verschiedener Art sind, wenn sie zusammen verbunden werden, wie eine rein konkave von sehr großem Radius. [76] Hätte aber die Konvexität ST das Übergewicht wegen des kleineren Radius, wie in der Figur zu Lehrsatz CXXXI, wo im Meniskus die Konvexität ABC größer ist als die Konkavität ADC, so kommt die gemischte Linse SX und ebenso auch zwei aneinandergelegte OP und QR einer rein konvexen gleich, nach CXXX.

CXXXV. Aufgabe. Ein Instrument zu konstruieren mit einer Konvexlinse von großem Radius, das kürzer ist, als die Fabrikanten gewöhnlicher Instrumente erwarten.

Man erreicht dies durch Verdoppelung der einzigen Konvexlinse, wobei die eine innen versteckt ist, was der Beobachter nicht wissen darf. Nach CXXV.

CXXXVI. Aufgabe. Ein Instrument herzustellen mit einem Konkavglase von großem Radius (welches den Radius des konvexen noch übertrifft) durch das die Gegenstände größer dargestellt werden, als es die Fabrikanten gewöhnlicher Instrumente erwarten.

Dies geschieht dadurch, daß man zwei Konkavlinsen statt einer nimmt, wovon der Beobachter nichts merken darf. Nach CXXVII.

CXXXVII. Aufgabe. Mittels einer Konvexlinse von kleinem Radius, kleiner sogar als der Radius der Konkavlinse am Auge (was ungereimt erscheint nach CVII) eine außerordentliche Länge des Instrumentes zu erreichen und die Gegenstände ungeheuerlich groß zu machen.

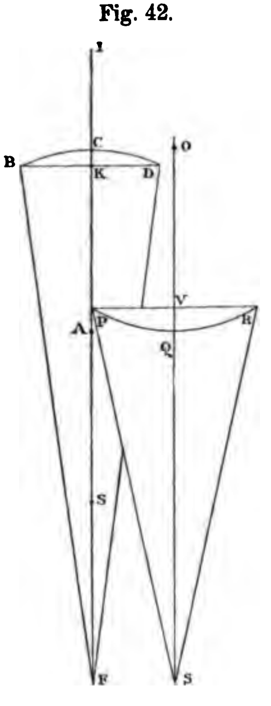
Entweder verbinde man mit ganz bestimmter Anpassung die Konvexlinse von kleinerem Radius mit der Konvexlinse von größerem Radius, die innen verborgen und nicht sichtbar ist, und der Erfolg wird da sein, nach CXXXIV. Oder aber, man muß eine gemischte Linse benutzen, die Konvexität von kleinerem Radius nach außen und die Konkavität von größerem Radius nach innen, nach CXXX. Die Position der anderen Konkavlinse, welche an das Auge gebracht werden muß, ist nach CXXXI zu ermitteln. Ein Versuch kann auch mittels CXXVIII gemacht werden.

[77] CXXXVIII. Lehrsatz. Bleibt der Abstand der Linse vom Auge gleich, und geht die Linie aus dem Auge nach dem Zentrum der Linse durch die Mittelpunkte der Konvexitäten, beziehungsweise Konkavitäten, so fallen die Refraktionen, die von den beiden ungleichen Oberflächen der Linse man auch dem Auge zukehren mag, nahezu gleich aus.

Dies scheint ungereimt und gegen die Lehrsätze XXXIV und XXXV. Denn in der Figur 42 bringt die dem Parallelen zugewendete konvexe Oberfläche des dichten Mediums *BCD* diese Parallelen zusammen in den Punkt *F*, im Abstand von anderthalb Durchmessern. Aber in [der Figur zu] Lehrsatz XXXV bringt die abgewendete [konvexe] dichte Oberfläche *PQR*, dieselben zusammen in *S*, in einem Durchmesser Abstand. Man muß sich aber erinnern, daß dort die Rede von

iner einzigen Oberfläche ist, während jede Linse notg deren zwei hat. Ebenso werden die Parallelen in atz XXXIV als in der Luft befindlich angenommen, in atz XXXV aber innerhalb des dichten Körpers, deshalb man sie nicht miteinander vergleichen. Der Unterschied klar, wenn jede von beiden Linsen auch auf der anderen äche begrenzt wäre, so daß F und S die Schnittpunkte a. Denn wir wollen um F ittelpunkt mit der Strecke FB Kreisbogen BKD als andere fläche beschreiben. Dieser det IAF in K und BCD in 'unkten B und D, so daß alle en, die sich in F schneiden, zu senkrecht stehen und infolgei in BKD nicht gebrochen n. [78] In der anderen Figur hrsatz 35 sei der Bogen PQR und ähnlich dem Bogen , und Q der mittlere Punkt des-. Die Endpunkte P und R verbunden durch eine Gerade, as Lot OQS in V schneidet, e gleichzeitig die andere, plane äche darstellt. Diese wird llen zu OQ parallelen Strahlen rinklig geschnitten. Deshalb n sie in PVR gar nicht ge-en, und der Schnittpunkt bleibt Nunmehr ist es klar, daß ı, von denen eine den Schnittin anderthalb Durchmesser CF, ndere in einem Durchmesser len Schnitt der Parallelen bedaß solche Linsen verschiedene Dicke haben müssen, obsie der Konvexität nach ähnlich und gleich sind. Jene hat ringere Dicke CK, diese die größere QV. Die Differenz ist der arcus sinus versus[48]) BK. Deshalb ist es nicht rwundern, daß bei jener der Abstand des Schnittpunktes Halbmesser, bei dieser nur zwei beträgt, nach CXXXI. Wahrheit des Lehrsatzes wird aber auch auf folgende einleuchten. Es möge in Figur zu Lehrsatz XXXIV

Fig. 42.



die Fläche *BCD* der Linse *BCDK* von den parallelen Strahlen abgekehrt werden, während die Punkte *BD* fest bleiben, so daß die Parallelen zuerst auf die konkave Oberfläche des dichten Mediums *BKD* auftreffen. Sie werden dann innerhalb des dichten Körpers divergieren nach *BCD*, der konvexen Oberfläche, nach XC. Wären sie aber innerhalb des Körpers parallel geblieben, wie in der Figur zu Lehrsatz XXXV, so hätten sie sich in einer Entfernung von zwei Halbmessern hinter der Konvexität geschnitten, nach Lehrsatz XXXV. Da sie aber auf *BCD* zu divergieren (wie wenn sie in der zweiten Figur gegen *PQR* konvergierten), so ist es ganz in der Ordnung, daß sie sich erst weiter hinter *S* schneiden, nach XI, nämlich in *F*. Dasselbe ist auch an der Figur zu Lehrsatz XXXV leicht zu beweisen. Wird nämlich *PQR* den Parallelen zugekehrt, so konvergieren die Strahlen innerhalb des Körpers so, als ob sie sich in einer Entfernung von anderthalb Halbmessern schneiden wollten, wie in *BCD* auf *F* hin. Wenn sie also bei ihrem Wege innerhalb des Körpers konvergieren und also konvergent auf dessen ebene Grenzfläche stoßen, so fallen sie geneigt auf diese und werden schon an der ebenen Fläche jeder von dem zu seinem Punkt gehörigen Lote abgebrochen. Und da sie nun in Ansehung der ganzen Linse abweichen, sowohl unter sich innerhalb des Körpers als auch von ihren Loten, so werden sie nach der Brechung draußen in der Luft um so mehr aufeinander zugehen, indem die einzelnen sich von ihren Loten entfernen. Und so ist es nicht wunderbar, daß sie schneller zum Schnitt kommen, als erst in einer Entfernung von anderthalb Durchmessern, nämlich in *S*. Und diese Darlegung erweist im allgemeinen die Behauptung. [**79**] Indessen ist die Verschiedenheit nur geringfügig, und ich gebe deshalb keine exakte Beweisführung. Wer aber zahlenmäßig diese Unmerklichkeit feststellen will, mag so verfahren, wie ich selbst es bei Lehrsatz XXXIV getan habe.

CXXXIX. Aufgabe. Beide Gläser sollen konkav sein, sowohl das nach dem Auge zu als das, welches nach dem Gegenstande gerichtet ist, und doch soll ein Erfolg erreicht werden.

Entweder setze man außen nach dem Gegenstande hin an Stelle eines einzelnen Konvexglases ein sichtbares Konkavglas, dem innen ein geheimes Konvexglas angefügt wird, von entsprechend kleinerem Radius, wie in Lehrsatz CXXXVII; oder man verwende an derselben Stelle ein gemischtes Glas, wie in

Lehrsatz CXXXVII, dessen konkave Fläche nach außen gekehrt sei. Denn nach CXXXVIII ist es gleichgültig, wie man es setzt.

CXL. [Aufgabe]: Ein Fernrohr zu verfertigen, dessen beide Gläser konvex sind, sowohl das nach dem Auge, als das nach dem Gegenstand hin gerichtete, und doch soll der Erfolg erreicht werden.

Nach dem Auge zu setze man für ein einziges Konkavglas ein konvex-konkaves mit einer konkaven Oberfläche von kleinerem Radius, und man richte es so ein, daß die konvexe Oberfläche von größerem Radius außen nach dem Auge zu stehen werde, die konkave unsichtbar an der Innenseite, nach CXXXIV. Oder man verwende nach dem Auge zu ein gemischtes Glas, dessen Konvexität von großem Radius nach außen vorsteht, dessen Konkav von entsprechend kleinerem Radius nach innen gerichtet ist, nach CXXXIII.

[80] CXLI. Aufgabe. Ein Fernrohr zu verfertigen, dessen Glas nach dem Auge hin konvex, nach dem Gegenstande hin konkav ist.

Es ist dies eine Verbindung von CXXXIX und CXL. Was nämlich dort in beiden Gläsern getrennt bewirkt wurde, das muß hier durch die Verbindung der beiden geschehen.

Anmerkungen zu Keplers Dioptrik.

Vorbemerkung. Bei dem Studium der Dioptrik *Keplers* muß man sich immer vergegenwärtigen, daß ihm z. Z. der Abfassung seines Werkes die beiden wichtigsten dioptrischen Gesetze unbekannt waren: das strenge Brechungsgesetz und das Gesetz der konjugierten Brennweiten. Seine Darstellung der Linsenwirkungen und seine Beweise haben infolge dessen häufig etwas Umständliches und Gequältes. Wenn *K.* trotzdem eine solche Fülle von richtigen Ergebnissen zutage förderte, so zeigt sich gerade hierin seine divinatorische Begabung.

1) *Zum Titelblatt.* Das Original enthält noch den Zusatz »Vorausgeschickt sind die Briefe *Galileis* über die neuen und bewundernswerten Entdeckungen, die seit der Herausgabe des ‚*Nuncius Sidereus*'*) am Himmel gemacht sind.

Ferner

Kritik der Vorrede des *Johannes Pena* aus Frankreich zu der Optik des Euklid, über die Anwendung der Optik in der Philosophie.«

Beides ist im folgenden nicht mit aufgenommen.

2) *Zu S. 4.* Professor *Papius* schreibt 1606 an *K.*: »Wären doch Ihre Paralipomena [ad Vitellionem seu·Astronomiae pars optica, in Frankfurt 1604 erschienen] ebenso klar wie sie geistvoll und fein erdacht sind. Mir ist in meinem ganzen Leben auf dem gesamten Gebiete der Mathematik, fast möchte ich sagen der gesamten Philosophie, nichts ebenso Schweres vorgekommen. Opfern Sie doch Ihrem langjährigen, dem Greisenalter sich nähernden Freunde ein paar günstige Stunden und

---

*) Vgl. Seite 116 Lebensbeschreibung *Keplers*.

freien Sie mich derart von meinen Zweifeln, daß ich das, was Sie meinen, durch klare Worte verstehe. Fast bei jedem Ihrer Lehrsätze bin ich in Zweifel, ob Sie alles genügend erklärt haben, oder ob ich auch nur den kleinsten Teil Ihrer Darlegungen begriffen habe . . .«

Dieser »greise« Freund war damals 48 Jahre alt und, wie er selbst versichert, in den mathematischen Wissenschaften besonders bewandert. Ein authentisches Zeugnis, wie weit *K.* seinen Zeitgenossen vorausgeeilt war.

3) *Zu S. 8.* Im Mittelalter definierte man den sinus nicht in einem Kreise mit dem Radius 1, sondern mit einem beliebigen Radius. Der Wert des sin. 90° ist dann $= r$, und r wurde sinus totus genannt. Erst seit *Euler* pflegt man ständig $r = 1$ zu setzen.

Distantia Solis = Polhöhe. Winkel EBH ist (als Scheitelwinkel) gleich dem Winkel zwischen Pol, Erde und Sonne. Er ist der Neigungswinkel *K.*s und gleichbedeutend mit dem modernen Einfallswinkel.

Die von *K.* angegebene Proposition würde also zu schreiben sein:

$$BE : EH = 1 : \operatorname{tg} EBH,$$

oder modern:

$$\operatorname{tg} EBH = \frac{EH}{EB}.$$

(Dr. *J. Tropfke.*)

4) *Zu S. 9.* Vgl. Anm. 3.

5) *Zu S. 9.* Unter Refraktionswinkel versteht *K.* den Winkel, unter dem der gebrochene Strahl gegen den einfallenden geneigt ist. Es ist hier der (kleinere) Tangentenwinkel zur Sehne EB, der ja bekanntlich durch den halben Bogen EB gemessen wird. *K.* wählt also als Maß der Ablenkung nicht den von uns Brechungswinkel genannten Winkel, sondern dessen Differenz mit dem Einfallswinkel. Vielleicht ist diese Wahl schuld daran gewesen, daß *K.* das Sinusgesetz der Strahlenbrechung nicht fand, an dem er doch so oft und so nahe vorbeistreift.

6) *Zu S. 10.* Grundsatz VII ist grundlegend für *K.*s dioptrische Anschauungen und sagt aus, daß für Winkel unter 30° die Refraktionswinkel (im *K.*schen Sinne) proportional sind den Neigungswinkeln des einfallenden Strahles, d. h. nach heutiger Bezeichnung den Einfallswinkeln. Dies *K.*sche Axiom

spricht in vollkommen scharfer Form den Satz aus, daß für kleine Winkel das Brechungsgesetz lautet: »Der Brechungswinkel ist dem Einfallswinkel proportional.« Zur Entwicklung der Theorie des Fernrohrs auch im modernsten Sinne bedürfen wir nur dieses letzteren Satzes und nicht des Brechungsgesetzes in seiner vollkommenen Form, da die Neigungen der Strahlen hier immer nur sehr gering sind. Die Voraussetzungen *K.*s müssen demnach in bezug auf das vorliegende Problem als notwendig und hinreichend betrachtet werden. Dies verdient um so mehr hervorgehoben zu werden, als man *K.* gerade bei seiner Dioptrik aus der Unkenntnis des strengen Brechungsgesetzes einen Vorwurf hat machen wollen. Die *K.*sche Proportionalitätskonstante fällt ja allerdings nicht mit dem zusammen, was wir heute unter Brechungsexponent verstehen. Bezeichnen wir nämlich den Einfallswinkel (*K.*s Neigungswinkel) mit α, den Brechungswinkel mit β, so ist der Refraktionswinkel *K.*s ausgedrückt durch $\varphi = \alpha - \beta$, und nach Grundsatz VII. besteht die Gleichung:

$$\alpha - \beta = c \cdot \alpha,$$

in der c die *K.*sche Proportionalitätskonstante ist. Hieraus folgt:

$$\alpha = \frac{1}{1-c} \cdot \beta,$$

während nach moderner Schreibweise für kleine Winkel die Beziehung besteht: $\alpha = n \cdot \beta$. Daraus folgt:

$$c = \frac{n-1}{n}.$$

Das Brechungsgesetz würde also lauten:

$$\varphi = \frac{n-1}{n} \cdot \alpha$$

oder für gewöhnliches Glas:

$$\varphi = \tfrac{1}{3}\,\alpha$$

(*A. Gleichen.*)

7) *Zu S. 10.* Dieser Grundsatz enthält implizite die Bestimmung des Brechungsexponenten des Glases zu 1,5, wie aus der Formel am Schluß der vorhergehenden Anmerkung hervorgeht.

8) *Zu S. 10.* Der von *K.* angegebene Wert für die größte ...nkung stimmt sehr nahe mit dem strengen Brechungsgesetz ...ein. Denn der maximale Wert von $\varphi = \alpha - \beta$ tritt auf $\alpha = 90^\circ$. Daraus ergibt sich, wenn $n = 1{,}5$ gesetzt und Brechungsgesetz in der Form $\sin\alpha = n \cdot \sin\beta$ ange...det wird:

$$\sin\beta = \frac{1}{n}$$

$$\sin\beta = \tfrac{2}{3} = 0{,}6666$$

$$\beta = 42^\circ \text{ rund (genau } 41^\circ\,50')\text{.}$$

...n ist:

$$\varphi = 90^\circ - 42^\circ \text{ (genau } 90^\circ - 41^\circ\,50')\text{.}$$

...o:

$$\varphi = 48^\circ \text{ (genau } 48^\circ\,10')\text{.}$$

9) *Zu S. 10.* *K.* spricht hier deutlich aus, daß die Pro...tionalität zwischen Neigung und Refraktion nicht das strenge ...turgesetz darstellt.

10) *Zu S. 15.* Da diese Bezeichnungsweise nur für das ...steinische einen praktischen Sinn hat, so ist im folgenden ... ihr Abstand genommen.

11) *Zu S. 16.* Hier und im folgenden spricht *K.* häufig ...n Kreisen, wo er Kugelflächen oder Kugelabschnitte meint. ...r hat wohl immer die Durchschnittsfigur der Linse vor Augen ...habt, die ja natürlich von einem Kreisabschnitte begrenzt ...rd.

Definition XXXII entspricht dem heutigen Satze: »Brech...raft und Brennweite einer Linse sind umgekehrt proportional.«

12) *Zu S. 16.* Bei *K.* steht: »Lentis concursus«. Unter ...oncursus radiorum seu linearum versteht *K.* gewöhnlich den ...hnittpunkt bei konjugierten Brennweiten. In Definition XLII ...serviert er den Ausdruck »concursus schlechtweg« für den ...pezialfall parallel einfallender Strahlen, also ganz im Sinne ...nseres modernen »Brennpunktes«.

13) *Zu S. 17.* *K.* behandelt hier tatsächlich nur das Problem der Brechung an einer einzigen Fläche, für die ja bekanntlich der Brennpunkt ungefähr um den dreifachen Radius vom Scheitel entfernt ist. Die Wirkung der Planfläche zieht ...r nicht in Betracht. Man vergleiche die wiederholte Ein...schränkung im Lehrsatz und Beweis: »Wenn diesen Strahlen außer der Brechung beim Eintritt weiter nichts widerfährt.« Vgl. auch die Überschrift auf Seite 18 unten.

14) *Zu S. 19.* Vgl. Anmerkung 12. *K.* scheint es (gangen zu sein, daß jede dünne Linse ihre Brennpunkt(gleicher Entfernung hat, gleichgültig, von welcher Seite parallele Licht auffällt.

Lehrsatz XXXVIII wird heute so formuliert:

$$\frac{1}{f} = (n - 1)\left(\frac{1}{r_{\prime}} - \frac{1}{r_{\prime\prime}}\right).$$

Vgl. Seite 20 am Schlußsatz von XXXIX.

15) *Zu S. 21.* Während *K.*, wie aus dieser Stelle l vorgeht, wohl den allgemeinen Begriff der konjugierten Schı weiten hatte, so fehlt doch bei ihm die strenge Formulieı dieses Zusammenhanges. *K.* hätte auch ohne Kenntnis strengen Brechungsgesetzes mit seinen Mitteln und Vor: setzungen diese sehr wohl finden können, da sie unabhäı von der strengen Form des Brechungsgesetzes ist. Der treffende Zusammenhang ist bekanntlich ausgedrückt durch Formel:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

wo a die objektseitige, b die bildseitige Schnittweite und f Brennweite ist. Wird $a = 2f$, dann muß auch $b = 2f$ wer

16) *Zu S. 22.* Der Beweis ist nur zureichend bei Annahme, die *K.* stillschweigend zu machen scheint, daß beiden Kegel eine gemeinsame Achse haben.

17) *Zu S. 23.* Vgl. Anm. 12.

18) *Zu S. 26.* Vgl. CVI Seite 61 und die dazu gehö Anmerkung 35.

19) *Zu S. 28.* Nennt man P den leuchtenden Punkt P' sein aberrationsfreies Bild, so kann man sich die Auf stellen, eine Fläche zwischen P und P' zu finden, die aberrationsfreie Abbildung durch Brechung bewirkt. I Fläche ist notwendig eine Rotationsfläche um die Achse I Nennt man den Brechungsexponenten im Objektraum n, Bildraum n' und bezeichnet einen beliebigen Punkt der Fl mit A, so ist

$$n \cdot AP + n' \cdot AP' = \text{Konstans}$$

die Gleichung der gesuchten Fläche. Sie führt nach il Entdecker die Bezeichnung: Cartesianisches Oval und geht

rallel auffallende oder austretende Strahlen in einen Kegelschnitt über.

Die *K.*sche Betrachtung hat nur eine Bedeutung für Strahlen ler geringer Achsenneigung, da nur in diesem Falle die von n vorausgesetzte Proportionalität von Neigungswinkel und fraktion zutrifft.

20) *Zu S. 29.* Diese ganze lichtvolle Darstellung und Errung des Sehaktes ist ein glänzender Beweis von *K.*s Genie. rgleicht man damit den Wust unsinniger Behauptungen und rmutungen seiner Vorgänger, seiner Zeitgenossen, ja sogar ler seiner Nachfolger bis in das erste Viertel des 19. Jahrnderts hinein, so wird man erst der überragenden Größe es durchdringenden Geistes inne. *K.* verlegt als erster das l der Außenwelt in die Netzhaut und führt die Bedingungen arfen Sehens richtig darauf zurück, daß von einem Punkt Außenwelt ein scharfes Bild auf der Netzhaut entworfen d. Auch mit seiner Annahme eines »geistigen Stoffes« innerb der Netzhautsubstanz, der durch das Bild des Gegenstans chemisch verändert wird, hat er das erst 260 Jahre später n *Boll* entdeckte Sehrot der Netzhaut voraus geahnt, und enso hat sich seine Vorstellung, daß der Eindruck der Verderung der Netzhaut weiter nach dem Gehirn geleitet, dort pfunden und gedeutet wird, als vollkommen richtig erwiesen, über den speziellen Weg vom Auge zu dem betreffenden nteil konnte er sich bei dem damaligen Stande der Hirn- Nervenanatomie noch kein richtiges Bild machen.

21) *Zu S. 31.* *K.* streift hier nur die Frage der Akkomdation, um erst später, in LXIV, näher auf sie einzugehen. schließt vollkommen logisch aus der Tatsache der Akkommotion auf das notwendige Vorhandensein einer Vorrichtung Auge, mittels deren eine Einstellung auf die veränderte nittweite ermöglicht wird, und sucht deshalb nach Musn im Augeninneren, die die Entfernung des hinteren Teiles Netzhaut von der Linse vergrößern könnten. Ganz richtig mutet er in den Ziliarfortsätzen die Vermittler der Akkomdation. Aber er stellt sich den Vorgang umgekehrt vor, als *Helmholtz* tut. Das normale (emmetropische) Auge ist bentlich in seiner Ruhestellung für die Ferne, d. h. auf paralle Strahlen, eingerichtet, die es auf seiner Netzhaut in einem nkte vereinigt. Geht das Auge nun zur Betrachtung eines her gelegenen Gegenstandes über, so wächst die zugehörige, rseitige, konjugierte Schnittweite über den Netzhautabstand

hinaus. Zwei Wege standen der Natur offen, um die Bi[ld-]
punkte eines nahegelegenen Gegenstandes doch wieder auf [d]
Netzhaut zu bringen. Entweder sie gab dem Auge die M[ög-]
lichkeit einer Formveränderung in der Sehachsenrichtung, o[d]
sie stattete das Auge mit Veränderlichkeit seiner Brechk[r]
aus. Letzteres nimmt die *Helmholtz*sche Theorie an, ind[em]
sie durch die Kontraktion des Ziliarmuskels und seiner Fo[rt-]
sätze die Linse stärker brechend macht und damit die Brechk[r]
des Auges erhöht. Durch die nachweisbare Veränderung [d]
Spiegelbilder der Linse hinsichtlich ihrer Größe und geg[en-]
seitigen Lage gewinnt diese Theorie nahezu Gewißheit. *K.* [da-]
gegen stellte sich vor, daß das Auge in Ruhe (d. h. für [d]
Ferne adaptiert) Kugelgestalt besäße, bei der Akkommodati[on]
für die Nähe aber infolge der Kontraktion des ringförmi[g]
Ziliarmuskels mehr Ovoidgestalt annähme, daß also die S[eh-]
achse sich bei der Akkommodation verlängere und auf di[e]
Weise das Bild des Gegenstandes wieder auf die Netzhaut [ge-]
bracht würde.

22) *Zu S. 36.* *K.* versteht hier unter »Schnittpunkt [d]
von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen« den Brennpu[nkt]
der Konvexlinse. Seine Darstellung trifft allerdings nur [f]
übersichtige Augen zu. Alle anderen Augen sehen den fer[nen]
Gegenstand durch Konvexgläser zwar auch aufrecht, aber [n]
verschwommen durch Zerstreuungskreise. Vgl. den nächs[ten]
Lehrsatz LXXI.

23) *Zu S. 37.* *K.* erklärt hier die Korrektion der Alte[rs-]
sichtigkeit vordem normal gewesener Augen vollkommen richti[g]

Der Spielraum, der bei dieser Korrektur mit Brillengläse[rn]
für annähernd scharfes Sehen vorhanden ist, ergibt sich dur[ch]
die Möglichkeit, mit Zerstreuungskreisen bis zu einer gewiss[en]
Grenze ausreichend scharf zu sehen. Die Grenze hierfür i[st]
die Breite eines Netzhautzapfens.

24) *Zu S. 37.* *K.* meint hier wieder mit »Schnittpunkt d[er]
Parallelen« den Brennpunkt der Linse. Da dieser sich imm[er]
zwischen der Linse und dem von einem nahen Gegenstande en[t-]
worfenen Bilde befindet, so sind hier die in LXX. angegeben[en]
Bedingungen des Aufrechtsehens erfüllt.

25) *Zu S. 40.* *K.* hat hiernach eine vollständig richti[ge]
Einsicht in die Refraktionsverhältnisse des kurzsichtigen Aug[es.]

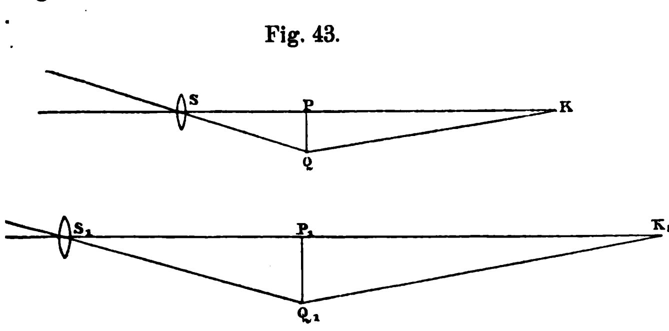
26) *Zu S. 44.* Dieses Eingehen *K.*s auf die ganz unfruc[ht-]
bare Frage, wie ferne Gegenstände durch Konvexgläser e[r-]
scheinen, könnte sich vielleicht dadurch erklären, daß *K.* üb[er]

ig (Hypermetrop) war. Denn Übersichtige sehen durch gnete) Konvexgläser wirklich besser in die Ferne, während anderen Augen unter allen Umständen schlechter durch exlinsen sehen. Dem steht aber entgegen, daß *K.* sich t für kurzsichtig und zugleich schwachsichtig gehalten hat. Schwachsichtigkeit ist vielleicht auf Hornhauttrübungen kzuführen, die er infolge der Blattern bekommen haben Es ist dies wenigstens ein häufiges Vorkommnis bei nerkrankung. Daneben kann natürlich auch noch Kurzgkeit bestehen. Von den vielen Stellen, an denen *K.* von Augen spricht, kommt hauptsächlich in Betracht Paralina ad Vitellionem Kap. V 5 (bei Frisch Seite 266), wo gt: »Wer schwachsichtig ist oder aus anderen Gründen Gegenstände schlecht erkennt, glaubt statt einer Mond- eine zackige Reihe von zehn Phasen zu sehen . . . mir, n diesem Fehler leidet« usw. »Jene 6 bis 8 bis 10 Monde«, er an einer anderen Stelle, »schieben sich teilweise inder«. Diese Beobachtung trifft für ein unbewaffnetes ichtiges Auge zu, wie ich mich selbst überzeugte (mein punkt liegt 25 cm vor dem Auge).

7) *Zu S. 45.* *K.* meint hier die umgekehrten Bilder, die exgläser von fernen Gegenständen entwerfen, und beweist Satz, daß die scheinbare Größe der Bilder gleich ist, sich die Entfernungen der Linsen vom Auge verhalten leren Brennweiten, ein Satz, der wegen seiner Einfachheit e Lehrbücher der Optik überzugehen verdiente.

Mit den heutigen Mitteln würde der Beweis sich folgenderm gestalten:

Fig. 43.



Es seien K und K_1 (Fig. 43) die Knotenpunkte, PQ und $_1$ die umgekehrten Bilder, S und S_1 die Scheitel der sehr

dünn gedachten Linsen, dann sollen PQ und $P_1 Q_1$ von und K_1 aus unter demselben Winkel erscheinen. Da fer diese Bilder von demselben entfernten Gegenstande herrüh sollen, so muß auch Winkel $PSQ = P_1 S_1 Q_1$ sein. Demn ist die obere Figur der unteren in allen Teilen ähnlich, es verhält sich:

$$KS : K_1 S_1 = PS : P_1 S_1,$$

d. h. die Entfernungen der Linsen vom Knotenpunkt des Au verhalten sich wie ihre Brennweiten.

Dieser Satz kann auch zur Ermittlung der Brennweite ei Konvexglases benutzt werden.

28) *Zu S. 48.* Unter dieser »sichtbaren Halbkugel« v steht *K.* offenbar das, was wir heute »Gesichtsfeld« nenn

29) *Zu S. 48.* Sinngemäß: »daß aber das Auge der Li näher ist als der Punkt, in dem es ein scharfes Bild erhal würde.«

30) *Zu S. 54.* Mit Recht beschränkt sich *K.* im Bew auf den Fall, daß der leuchtende Punkt zwischen dem Zentr der Konkavität und dem Scheitel der ersten brechenden Fläc liegt. Denn in diesem Fall haben die Lichtstrahlen innerh des Linsenkörpers eine geringere Divergenz als vorher. W er also nachweist, daß die folgende brechende Fläche die Verlust an Divergenz mindestens wett macht, so ist der weis auch für jede beliebige andere Lage des leuchten Punktes geliefert.

31) *Zu S. 56.* Das heißt: das Gesichtsfeld wird klei

32) *Zu S. 56.* Befindet sich ein Objekt von der Größe in der Entfernung e, und läßt man eine Konkavlinse von Brennweite f zwischen Auge und Objekt in der Richtung y_0 hin sich bewegen, so sieht man das von der Konkavli entworfene Bild unter dem Gesichtswinkel:

$$\omega = \frac{y_0 \cdot f}{x \cdot e - x^2 + ef},$$

wo x den Abstand der Linse vom Auge bedeutet. Dieser A druck wird für $x = \frac{e}{2}$ ein Maximum.

33) *Zu S. 58.* Der Lehrsatz XCIX heißt im Origi »Cava lens, si proxime oculum sit applicanda, aut omni

inibus in certo intervallo, ut cum perspicilla naso inequitum cuique sua propria est, ad distinctam visionem efficdam.«

Herr *P. v. Winterfeld* vermutet, daß die Worte dieses Lehres vielleicht durch eine Korrektur *K.*s im Manuskript in rwirrung gebracht sind, und daß sie etwa wie folgt gelautet ben: »Cava lens aut omnibus hominibus in certo intervallo dem, aut] si proxime oculum sit applicanda« usw., wobei em auf lens bezogen werden muß. Diese Konjektur gibt n optisch richtigen Sinn und ist deshalb auch der Überung zugrunde gelegt.

34) *Zu S. 60.* Die hier von *K.* angegebene Kombination er Konvex- und Konkavlinse, die reelle vergrößerte Bilder wirft, ist identisch mit dem sogenannten »Teleobjektiv«, das der Form von photographischen Objektiven in der neueren vielfache Verwendung findet. Nachdem *Barlow* und *Littrow* diese Linsenzusammenstellung hingewiesen hatten, war sie der in Vergessenheit geraten und wurde vor etwa zehn ren plötzlich wieder Gegenstand einer lebhaften Diskussion.

(*A. Gleichen.*)

35) *Zu S. 61.* Die Vorstellung *Portas* von einer »Brenn-« beruht, wie ich glaube, auf folgender rein theoretischen ägung. Läßt man parallele Strahlen, z. B. Sonnenstrahlen, eine Konvexlinse fallen, so werden sie von ihr gebrochen schneiden sich im Brennpunkt. Daß ein brennbarer Stoff diesem Brennpunkt sich entzünden kann, ist ja bekannt ug. Nun wird zwar zweifellos in der Spitze dieses von Konvexlinse erzeugten Strahlenkegels (dem Brennpunkt) die ste Wärme herrschen, aber auch schon vor der Spitze die Strahlen so nahe aneinander gedrängt, daß Wärme eugt wird. Dies läßt sich praktisch leicht nachweisen, inman die Kugel eines Thermometers in den Strahlenkegel gt. Schon dicht hinter der Linse (von kurzer Brennweite) t das Quecksilber an sich auszudehnen, und je mehr man der Spitze des Kegels nähert, desto höher steigt es. Nehmen nun an, wir ließen den Strahlenkegel z. B. 1 mm vor ner Spitze, also an einer Stelle, wo schon relativ hohe mperatur herrscht, auf eine kleine Konkavlinse fallen, deren nnweite gleichfalls 1 mm beträgt, so würden die Strahlen allel aus ihr austreten und einen ganz dünnen (1 mm starken) hlenzylinder darstellen, der an jedem seiner Querschnitte, ins Unendliche hinein, dieselbe Wärme anzeigen müßte.

Ein leicht entzündlicher Körper müßte also auch in jeder be-
liebigen Entfernung innerhalb dieses Strahlenzylinders zur V
brennung gebracht werden können. Dies scheint theoreti
zunächst ganz richtig, praktisch aber wäre es schon wegen
ungleichmäßigen Brechung zumal so kleiner, stark brechen
Linsen und ebenso wegen der unregelmäßigen Brechung in d
Luft unmöglich. Man bedient sich zwar derselben Versuch
anordnung (nur mit Konkavlinsen von großer Öffnung u
Brennweite) auch heute, um sog. paralleles Licht für phy
kalische Zwecke herzustellen, doch gelingt es selbst mit d
besten Material nicht, wirkliche Parallelität der Strahlen wei
als auf 1—2 m herzustellen.

Porta scheint nun geglaubt zu haben, daß es nicht n
möglich sei, einen solchen dünnen Strahlenzylinder herzustell
sondern er glaubte sogar, diesen dünnen Zylinder bis zu ei
Linie konzentrieren, also den Brennpunkt gewissermaßen
einer Brennlinie »ausziehen« zu können. Daß dies auch the
retisch unmöglich ist, weist *K.* ganz richtig nach.

Weniger glücklich ist *K.* in der Zurückweisung der ande
Deutung der *Porta*schen Behauptung. Zum Beweise geb
wir Herrn *A. Gleichen* im folgenden das Wort.

»Es ist ohne weiteres nicht ersichtlich, weshalb schwa
konvergierende Strahlen in ihrem Schnittpunkt weniger Wär
erzeugen sollen, als dieselbe Anzahl Strahlen von star
Konvergenz. Indessen liegt der wahre Grund, weshalb d
Brennwirkung in die Ferne unmöglich ist, in der Vergrößeru
die das System (im vorliegenden Fall das Teleobjektiv) bewir

K. sowohl wie *Porta* macht die stillschweigende Vora
setzung, daß das Objekt ein auf der Achse gelegener, une
lich ferner, mathematischer Punkt sei, von dem aus die Strah
auf die Konvexlinse parallel auffallen. Er nimmt ferner
daß von diesem mathematischen Punkt aus eine endli
Energiemenge ausgesendet wird, die sich dann im Bildpu
wieder finden müßte. Ein solcher Punkt kann aber im
nur eine unendlich kleine Energiemenge aussenden, so d
also die Übertragung einer Brennwirkung in die Ferne sch
aus diesem Grunde unmöglich wäre.

Um die Erscheinung richtig zu würdigen, müssen wir u
als Objekt eine, wenn auch noch so kleine, Fläche vorstelle
die nun der Vergrößerung des Systems ausgesetzt wird.

Nennen wir den Gesichtswinkel, unter dem wir die So
sehen, ε, so erzeugen die sämtlichen auf die Linse von d

weite f auffallenden Strahlen in der Fokalebene ein bildchen von dem Durchmesser $\varepsilon \cdot f$. Wendet man eine mbination an, deren konvexer Bestandteil die Brennweite en konkaver die Brennweite f_2 hat, so hat das in der iven Fokalebene erzeugte Sonnenbild den Durchmesser:

$$x = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot \varepsilon}{f_2 - f_1 + e},$$

nd das Bild selbst in die Entfernung σ rückt:

$$\sigma = \frac{(f_1 - e) f_2}{f_2 - f_1 + e},$$

die Entfernung der beiden Linsen voneinander ist.

ennen wir ferner die von der Sonne auf die Öffnung der gelangende Wärmemenge Q, so erscheint diese ausgebreitet : Fokalebene auf einem Kreis von der Fläche:

$$\frac{x^2 \pi}{4},$$

uf der Flächeneinheit ist die Wärmemenge ausgebreitet:

$$\frac{4Q}{x^2 \pi}.$$

aben daher für das Maß der entwickelten Wärme, d. h. ie Wärmeintensität I:

$$I = \frac{4Q}{x^2 \pi} = \frac{4Q(f_2 - f_1 + e)^2}{\pi f_1^2 \cdot f_2^2 \cdot \varepsilon^2}. \tag{I}$$

ieser Wärmeintensität I vergleichen wir diejenige Wärme- ität I_0, welche die Konvexlinse mit der Brennweite f_1 für n ihrer Fokalebene erzeugen würde.

Wie wir schon sahen, erscheint in diesem Falle die Wärme- e Q ausgebreitet auf ein Scheibchen von dem Durch- r εf_1, das heißt von der Fläche $\frac{\varepsilon^2 f_1^2 \pi}{4}$. Also ist $\frac{Q \cdot 4}{\varepsilon^2 f_1^2 \pi}$. Folglich erhalte ich aus (I):

$$I = \frac{I_0 (f_2 - f_1 + e)^2}{f_2^2}. \tag{II}$$

Zahlenbeispiel: Es sei die Brennweite $f_1 = 20$ cm. Im s würde also die Wärmeintensität I_0 herrschen. Setzt

man jetzt in einer Entfernung $e = 16$ cm eine Negativlinse von der Brennweite $f_2 = 5$ cm, so ergibt sich zunächst $\sigma = 20$ cm, d. h. der Brennpunkt wird um 16 cm vorgeschoben. Als Intensität in dem neues Fokus ergibt sich die letzte Formel (II):

$$I = \frac{I_0}{25}.$$

Die Intensität ist also doch schon auf $\frac{1}{25}$ gesunken.

σ wird unendlich groß, d. h. der Fokus rückt in unendliche Entfernung, wenn $f_1 - f_2 + e = 0$ ist. In diesem Fall lehrt aber Formel (II), daß auch $I = 0$ wird. Es würde diese Anordnung das holl. Fernrohr darstellen.«

36) *Zu S. 61.* Diese Kombination stellt bekanntlich das holländische Fernrohr dar. Das Optimum des Verhältnisses der Brennweiten ist dabei 2 : 1, wobei die kürzere Brennweite der Konkavlinse zufällt.

37) *Zu S. 65.* *K.* variiert hier nur mehrfach den Satz, daß die Länge des holländischen Fernrohrs gleich der Differenz der Brennweiten vom Objektiv und Okular ist.

38) *Zu S. 67.* Das Gesichtsfeld wird aber kleiner.

39) *Zu S. 67.* Es tritt dann die Teleobjektivwirkung ein, aber die Gegenstände werden verschwommen.

40) *Zu S. 68.* Tatsächlich ist die Vergrößerung: $V = \frac{F}{f}$.

41) *Zu S. 69.* Infolge der Nichterfüllung der *Abbe*schen Sinusbedingung am Objektiv, nicht aber, wie man meinen könnte, infolge der sphärischen Aberration der Negativlinse. Denn die vom Okular erzeugte sphärische Aberration ist wegen des geringen Querschnittes der ins Auge gelangenden Bündel praktisch zu vernachlässigen, während der Objektivfehler gegen die Sinusbedingung durch eine stärkere Negativlinse entsprechend vergrößert wird (*A. Gleichen*).

42) *Zu S. 69.* Aus demselben Grunde wie in CXIX. Anm.

43) *Zu S. 70.* Unter Halbkugel versteht *K.* wieder das Gesichtsfeld.

44) *Zu S. 70.* Hierin liegt der Vorschlag, durch Blenden die Abbildung zu verbessern.

45) *Zu S. 72.* Das Wort *χρυψις* deckt sich hier wohl am besten mit dem Ausdruck: »Vexierkonstruktionen.«

45[a]) *Zu S. 75.* Im Original »secans superficies perpendiculariter«, sinnwidrig und ohne Zweifel nur durch ein Abirren auf die vorhergehende Zeile.

6) *Zu S. 76.* Anm. zur Figur 37. *K.* (sowohl wie *Frisch*) : die Figur so gezeichnet, als ob sie der Hauptschnitt plankonvexen Linse wäre. Sie soll aber der Hauptschnitt positiven Meniskus sein, so daß *EF* keine Gerade, sondern reisbogen ist. Dies geht auch aus dem nachfolgenden s hervor. (Da also *BE* und *CF* gegen die konkave sfläche *EF* konvergieren usw.)

') *Zu S. 80.* Die Worte: »nach innen von der Kont« bedeuten, daß der Durchmesser der Konkavität kleiner ar Radius der Konvexität, und daß der Kreis der Kont zwischen Peripherie und Mittelpunkt des Kreises der xität gelegen ist.

Johannes Keplers Leben.

Lange Zeit stritten sich Weilderstadt, Magstadt und Leonberg (alle drei in Württemberg gelegen) um die Ehre, *Keplers* Geburtsort zu sein, bis dieser Streit durch das Bekanntwerden eines Briefes *K.*s an den Magistrat zu Nürnberg endgültig zugunsten des ehemals reichsfreien Städtchens Weilderstadt entschieden wurde. *K.*s Großvater *Sebald K.* war daselbst längere Zeit regierender Bürgermeister. Dessen Sohn *Heinrich K.* hatte sich am 15./5. 1571 mit *Katharina Guldenmann*, Tochter des Bürgermeisters von Eltingen, verheiratet. *Katharina* war einige Monate älter als ihr Mann. Beide standen im 25. Lebensjahr, als sie heirateten. *Johannes K.*, ihr Erstgeborener, kam am 27./12. 1571 (zwei Monate zu früh) auf die Welt.

Die Ehe war wohl keine glückliche. *K.* selbst schildert seine Mutter als starrköpfig, schwatzhaft und bösartig. Trotz dieser anscheinend unkindlichen Äußerungen hat *K.* sich zeitlebens als ein guter und aufopfernder Sohn seiner Mutter gegenüber bewiesen. Auch *K.*s Vater war von unruhigem Geist und verließ Frau und Kinder, manchmal auf Jahre, um fremde Kriegsdienste zu nehmen. Obwohl Protestant, focht er wiederholt unter *Alba* in Belgien. Einmal folgte ihm seine Frau dorthin. Beide kehrten 1575 zurück und fanden ihren Sohn *Johannes* noch schwer an den Folgen der Blattern leidend vor. Diese Krankheit scheint die Ursache von *K.*s schwachen Augen geworden zu sein, über die er sich häufig beklagt (vgl. Anm. 26). Die Eltern zogen jetzt nach dem benachbarten Leonberg, wo *K.* von seinem 4. bis 8. Lebensjahre verblieb und 1577 den deutschen Lese- und Schreibunterricht besuchte. Aber schon 1578 ging er in die Lateinschule über. Trotz seiner Schwächlichkeit wurde er von den wirtschaftlich mehr und mehr zurückgehenden Eltern zu den schwersten ländlichen Arbeiten gezwungen, bis sie endlich einsahen, daß er hierzu nichts taugte und ihn zum Studium bestimmten. Noch nicht 12 Jahre alt

bestand *K.* das sog. Landexamen in Stuttgart. Doch dauerte es noch anderthalb Jahre, bevor er in die (Adelberger und später die Maulbronner) Klosterschule eintreten durfte. Letztere verließ er nach drei Jahren, um die Universität Tübingen zu beziehen. Im selben Jahre ging sein Vater als Hauptmann in den Seekrieg der Neapolitaner gegen *Anton von Portugal*, kehrte zwar heil ins Vaterland zurück, starb aber eines plötzlichen Todes in der Nähe von Augsburg (*Hanschius*). Aus seiner Ehe waren sieben Kinder hervorgegangen, von denen drei frühzeitig starben. Mit der einzigen Schwester *Margarethe* (geb. 1584, vermählt mit dem Pfarrer *Georg Binder*) blieb *K.* dauernd in reger Verbindung.

Auch in Maulbronn war *K.* von schweren Krankheiten heimgesucht worden. Man kann überhaupt sagen, daß er es zeitlebens zu keiner einigermaßen festen Gesundheit gebracht hat. In seinen Briefen begegnen wir immer wieder Klagen über Fieberanfälle, Kopfschmerzen, Fröste usw.

Von seinen Tübinger Lehrern hat *Michael Maestlin* (geb. 1550), Professor der Mathematik und Astronomie, den größten Einfluß auf *K.* gewonnen. Später ward aus dem Lehrer der eifrigste Freund und Bewunderer seines ehemaligen Schülers. *Maestlin* war ein Anhänger der kopernikanischen Lehre, wagte es aber nicht, sich offen zu ihr zu bekennen. Er ist der Entdecker der wahren Ursache des sog. aschgrauen Lichtes am Monde, das durch den »Erdschein« hervorgebracht wird.

Infolge guter Zeugnisse wurde *K.* in das Tübinger Stift aufgenommen und auch ein Stipendium fiel ihm zu, so daß seine Lage sich äußerlich gut gestaltete.

Die ersten zwei Jahre hörte er Kollegien in der »Artistenfakultät«, in der Mathematik, Griechisch, Hebräisch, Rhetorik, Geschichte, Aristotelische Philosophie und griechische Klassiker erklärt wurden. Als Stiftler war *K.* verpflichtet, nach zwei Jahren die Magisterwürde zu erwerben, was er mit Auszeichnung tat. Die nächsten drei Jahre mußte er Theologie studieren. Aber noch ehe er das letzte Studienjahr beendet hatte, nahm man ihn für die Mathematikprofessur der evangelischen Stiftsschule zu Graz in Aussicht. Die österreichisch-deutschen Provinzen waren damals nämlich vorwiegend protestantisch und wurden meist von Tübingen aus mit Pfarrern und Lehrern versorgt. *K.*, der sich durch eine etwas abweichende religiöse Auffassung bei den maßgebenden Personen in T. mißliebig gemacht hatte, wurde in diesem Falle auch von seinen Fein-

den aufs wärmste empfohlen, und so erhielt er, noch nicht ganz 23 Jahre alt, jene Stelle. Man entband ihn sogar freiwillig aller Pflichten, die er durch den Genuß des Stiftes für den württembergischen Kirchendienst übernommen hatte. Im Mai 1594 hielt er in Gr. seine erste Lektion.

Neben seiner Lehrtätigkeit mußte *K.* als »Landschaftsmathematikus« alljährlich einen Kalender mit Prognosen in bezug auf Wetter und allgemeine Politik anfertigen. Dieser Tätigkeit durfte er sich in den damaligen Zeiten nicht entziehen, obwohl er selbst in einem Briefe sie als töricht bezeichnet. Überhaupt spricht sich *K.* über sein Verhältnis zur Astrologie zu wiederholten Malen offen aus. Er bezeichnet die Astrologie mehrfach als »die lüderliche Tochter der Astronomie, die durch ihre reicheren Einnahmen die Armut der Mutter erleichtern helfe.« Im »Tertius intervenicus, das ist, Warnung an etliche Theologos, Medicos vnd Philosophos, dass sie bey billigher Verwerffung des Sternguckerischen Aberglauben, nicht das kindt mit dem Badt ausschütten« usw. (1610) sagt *K.*: »Es ist wol diese Astrologie ein närrisches Töchterlein, aber lieber Gott, wo wolt jhr Mutter die hochvernünfftige Astronomia bleiben, wenn sie diese jhre närrische Tochter nit hette, ist doch die Welt noch viel närrischer, vnd so närrisch, dass deroselben zu jhren selbst frommen diese alte verständige Mutter, die Astronomia durch der Tochter Narrentaydung, weil sie zumal auch einen Spiegel hat, nur eyngeschwatzt vnd eingelogen werden muss.

Vnd seind sonsten der Mathematicorum salaria so seltzam vnd so gering, dass die Mutter gewisslich Hunger leyden müsste, wann die Tochter nichts erwürbe« usw. Auch gegen seinen Lehrer und vertrauten Freund spricht er sich in einem Briefe ähnlich aus: »Wenn Gott jedem Thier die Mittel und Wege gab sein Leben zu fristen, warum sollte er dann nicht in derselben Absicht dem Astronomen die Astrologie beigeben?« Also um die Mittel zur Förderung wahrer Wissenschaft zu gewinnen, gab sich *K.* mit jener Afterwissenschaft ab, die bei seinen Zeitgenossen noch im höheren Ansehen stand.

*K.*s erstes größeres Werk das »Mysterium cosmographigum« erschien 1596 in Tübingen. Er glaubt, in diesem Werk das Geheimnis des Weltbaues zu enthüllen. Die Grundvorstellung ist falsch, da sie mit der Sechszahl der damals bekannten Planeten steht und fällt. *K.* will die Ursachen für Zahl Größe und Bewegung der Planeten ergründen, ein Problem

lem er seit seiner Studentenzeit nachsann. Auch um eine Bestätigung des Kopernikanischen Systems war es ihm dabei u tun. Der Gedanke ist mit *K.*s eigenen Worten kurz folgender.

»Die Erdbahn liefert den Kreis, der das Maß aller übrigen ildet; um ihn beschreibe ein Dodekaeder: der dieses umschließende Kreis ist der des Mars; die Marssphäre begrenze nit einem Tetraeder, der diesem umschriebene Kreis wird der es Jupiter sein. Die Sphäre des Jupiter umschließe mit einem Würfel; der diesem umschriebene Kreis ist der des Saturn. erner schreibe der Erdsphäre ein Ikosaeder ein, der von iesem eingeschlossene Kreis wird der der Venus sein. Der enus schreibe ein Oktaeder ein, und der Kreis in diesem wird em Merkur zugehören. Und so erhältst du den Grund für ie Anzahl der Planeten.« (Es gibt bekanntlich nur jene fünf egelmäßig begrenzte Körper.) Das Buch machte bei seinem rscheinen großes Aufsehen und fand die Anerkennung und ewunderung der gelehrten Welt. *K.* hielt an dieser Grundlee zeitlebens fest, da bis zu seinem Tode keine Beobachtung ekannt wurde, die ihr widersprochen hätte. Er behauptet ach, seine sämtlichen Studien, Werke und Entdeckungen ätten ihren letzten Ursprung in diesem Buch.

Am 27./4. 1597 verheiratete sich *K.* mit *Barbara Müller*, ie trotz ihrer Jugend (geb. 1573) bereits zweimal vermählt ewesen war. Sie brachte *K.* eine Stieftochter zu. *K.* hatte roße Schwierigkeiten gehabt, die Zustimmung der Familie einer Frau zu erhalten. Diese galt damals schon für adelig, bwohl ihr das Adelsprädikat »*von Mühlbeck*« erst 1623 verehen wurde. Von *K.* wurde nun der Nachweis verlangt, aß er ebenfalls adeliger Abkunft sei. Um diesen Nachweis u führen, mußte *K.* mehrere Monate nach Hause reisen. In er Tat gelang es ihm nachzuweisen, daß zwei seiner Ahnen, ie Brüder *Friedrich* und *Konrad K.* 1430 von *Kaiser Sigismund* zu Rittern geschlagen und 30 Jahre später von *Friedrich III.* bestätigt worden waren. Die Familie kam aber später irtschaftlich herab und machte deshalb keinen praktischen ebrauch von ihrem Adel. Hiermit mag es zusammenhängen, aß sie sich in Nürnberg mit einer leichten Veränderung *epler* schrieben und erst später, als sie in Weilderstadt ieder zu Ansehen gelangt waren, die ursprüngliche Schreibart ieder aufnahmen. (*K.* selbst schreibt sich bald *Kepler*, bald *eppler*.)

*K.*s Schwiegervater war sehr vermögend, so daß *K.* über alle materiellen Sorgen hinweg zu sein schien. Aber in allen Geldsachen verfolgte ihn ein widriges Geschick, und er ist in der Tat nie in den richtigen Genuß des Vermögens seiner Frau gelangt, da die sehr bald nach seiner Verheiratung einsetzenden Religionswirren die Besitzverhältnisse der Protestanten Österreichs mehr oder weniger gestört haben.

In den Erblanden des *Erzherzog Karl*: Steiermark, Kärnthen und Krain war damals die Mehrzahl der Einwohner, der Adel fast ausnahmslos, protestantisch. Hierin hatte die Gegenreformation, solange *Karl* lebte, auch nicht viel zu ändern vermocht. Anderes erwartete man von seinem Sohn und Nachfolger *Ferdinand* (später *Kaiser F. II.*) der, ganz unter jesuitischem Einfluß erzogen, ausdrücklich gelobt hatte, alles »Sektiererwesen« in seinen Landen mit Stumpf und Stiel auszurotten. *K.* schreibt deshalb auch kurz nach seiner Verheiratung an *Maestlin*: »Wir erwarten die Rückkehr unseres Fürsten aus Italien mit Zittern und Zagen.«

Diese Befürchtungen sollten schnell genug eintreffen. Taktlosigkeiten und Zelotismus auf seiten der Protestanten gaben dem heimgekehrten *Erzherzog F.* eine willkommene Handhabe zur Durchführung seiner Absichten. Alle Diener der protestantischen Kirche und Schule wurden des Landes verwiesen. Mit ihnen auch *K.*, doch erhielt er schon nach Verlauf eines Monates als Einziger die Erlaubnis zur Rückkehr. Diese und andere, spätere Vergünstigungen verdankt *K.* den Jesuiten, unter denen sich schon zu jener Zeit Gelehrte ersten Ranges befanden, die *K.*s wissenschaftliche Bedeutung frühzeitig erkannten. Sie hätten es gewiß gern gesehen, wenn sich der so viel versprechende junge Gelehrte zur katholischen Religion bekannt hätte. Es hat denn auch nicht an direkten und indirekten Versuchen gefehlt, *K.* den Übertritt nahezulegen. *K.*s ganzes Leben und Arbeiten hätte sich unzweifelhaft leichter und behaglicher gestaltet, wenn ihm sein Gewissen diesen Schritt gestattet hätte, der ihm ebensosehr von katholischer Seite durch offensichtliches Entgegenkommen als von lutherischer durch Übelwollen und Rücksichtslosigkeit gegen seine eigene Person erleichtert wurde (*K.* wurde wegen einiger Abweichungen in seinen religiösen Ansichten, wie schon oben angedeutet, von der Tübinger theologischen Fakultät nach Graz »fortgelobt« und später sogar offiziell »exkommuniziert«, indem man ihn vom Genuß des h. Abendmahles in Linz ausschloß,

gl. S. 110 Anm.). Um so höher müssen wir also *K.*s Standaftigkeit anerkennen.

Vielleicht um jenen Anfechtungen ein für allemal ein Ende ı machen, sprach sich *K.* in einem Briefe an einen hochstellten Katholiken, den bayrischen Kanzler *Herwart von Iohenfeld*, offen über diesen Punkt aus. Kurz nach seiner ückkehr nach Graz schrieb *K.* nämlich an diesen ihm zeitbens treu bleibenden Gönner: »Was nun? Soll ich in Steierark bleiben, oder soll ich gehen? Nichts hält mich davon b, Ihnen meine innerste Herzensmeinung zu eröffnen, der Sie ie Mitteilung über meine Studien, wie mir scheint, so freundch aufgenommen haben. Worüber Sie sich vielleicht freuen Fortschritte der Gegenreformation], das kann nicht anders als ir den bittersten Schmerz bereiten. So geht es im Leben! h bin Christ und habe das augsburgische Glaubensbekenntnis ıs den Unterweisungen des Elternhauses, aus oftmals geprüften ründen und unter täglichen Versuchungen angenommen; ım hange ich an, heucheln habe ich nicht gelernt. Glaubensıchen behandle ich ernst, nicht wie ein Spiel, darum kümmre h mich auch ernstlich um die Ausübung der Religion und m den Gebrauch der Sakramente. Wie aber nun? Diejenigen, eren ich mich bisher als Mittler zwischen mir und Gott beiente, sind aus diesem Lande vertrieben« usw.

K. sah bald ein, daß er in Graz nicht auf die Dauer werde leiben können. Denn wenn seine Anwesenheit auch geduldet urde, so verschonte man ihn doch keineswegs mit Maßregeıngen aller Art. Er schrieb damals voller Verzweiflung an *laestlin* und beschwor seinen alten Lehrer, ihm doch irgend inen Lehrauftrag in der Artistenfakultät in Tübingen zu verchaffen. Aber *Maestlin*s Anstrengungen waren vergeblich.

Indessen hat *K.* in jener für ihn so drangvollen Zeit (1599 tarben kurz hintereinander seine beiden Kinder) Abhandlungen heologischen, physikalischen und astronomischen Inhaltes gechrieben, über den Erdmagnetismus, Ursache der Schiefe der kkliptik u. a.).

Als *Maestlin*s Bemühungen gescheitert waren, und dabei ie Verhältnisse in Graz sich infolge von Einkerkerungen und 'olterungen ungefügiger Protestanten immer schwieriger getalteten, faßte *K.* den Entschluß, nach Prag zu *Tycho de Brahe* zu gehen und bei ihm eine Anstellung nachzusuchen. T. war damals aus Dänemark nach Prag zu *Kaiser Rudolph* bergesiedelt und hatte eben einen Brief an *K.* abgeschickt,

in dem er ihn nach Prag berief. *K.* war bereits unterwegs, als der Brief an ihn abging. In diesem (1600) und dem folgenden Jahre litt *K.* an einer besonders schweren Malariaform.

K. fand an *Tycho* auf die Dauer nicht den wohlwollenden Meister und Freund, den er erwartet haben mochte. Er schreibt aus Prag an *Maestlin*: »Ich habe hier alles unsicher angetroffen; *Tycho* ist ein Mann, mit dem man nicht leben kann, ohne sich den gröbsten Beleidigungen auszusetzen. Die Besoldungen sind recht gut, aber man kann mit Mühe kaum die Hälfte herauspressen.« *K.*s ewiges Geschick, sein Gehalt unregelmäßig, stark verkürzt oder gar nicht ausgezahlt zu erhalten, bewährte sich auch in Prag. Sogar sein häusliches Leben wurde dadurch recht ungemütlich.

Schon im folgenden Jahre (1601) starb *Tycho* und nicht allzulange darauf wurde *K.* als dessen Nachfolger mit dem Titel »Kaiserlicher Mathematicus« ernannt. Auch die späteren *Kaiser Matthias* und *Ferdinand II.* bestätigten *K.* in diesem Amt. Die Benutzung des *Tycho*schen literarischen Nachlasses, um die es *K.* sehr zu tun war, mußte er sich erst durch einen Prozeß mit den Erben *T.*s erstreiten. Mit Hilfe von *T.*s zwanzigjährigen, sowie eigener Beobachtungen des Planeten Mars, gelang es *K.*, den Nachweis zu führen, daß dessen (wie auch der anderen Planeten) Bahn kein Kreis, sondern eine Ellipse ist (sog. I. *Kepler*sches Gesetz). Hierdurch und durch die spätere Entdeckung *K.*s, daß der Leitstrahl, den man sich von der Sonne zur Erde gezogen denkt, in gleichen Zeiträumen gleiche Flächenräume bestreicht (II. *Kepler*sches Gesetz), erhielt das *Kopernikan*ische System gewichtige Stützen. Denn die »Ungleicheiten«, die dem System noch anhafteten, weil es kreisförmige Bahnen und gleichförmige Geschwindigkeiten der Planeten annahm, waren nun mit einem Male aus dem Wege geräumt.

Gleichzeitig arbeitete *K.* an seinem großen, dem *Kaiser Rudolph* gewidmeten Werk: »Paralipomena in Vitellionem seu Astronomiae pars optica« (Frankfurt 1604), indem er unter anderen eine neue Theorie des Sehens aufstellt, die noch heute der Hauptsache nach zu Recht besteht. Sie findet sich auch in der Dioptrik. Vgl. Lehrsatz LXI. Nebenher beschäftigten den Unermüdlichen noch viele andere, manchmal rein praktische Probleme, z. B. Konstruktionen von Pumpwerken, Berechnung des Inhaltes von Fässern usw. Dabei war er allein im Jahre 1604 zwei Monate schwer krank. Besonders wichtig

K.s Leben ist das Jahr 1610. Es brachte die Veröffentlichung der *Galilei*schen Schrift: »Sidereus Nuncius«, in der *G*. seine Entdeckung von vier Jupitermonden und den Phasen der Venus mit dem von ihm verbesserten holländischen Fernrohr beschreibt. Angeregt durch diese Veröffentlichung, beschäftigte sich *K*. von neuem auf das eingehendste mit Optik und faßte alles, was damals über diesen Gegenstand bekannt war, in seiner »Dioptrice« zusammen. Er schrieb das Buch in einem Zuge während des August und September 1610. Ein sehr großer Teil davon ist sein eigenstes geistiges Eigentum. Dahin gehört auch die Angabe zur Konstruktion des nach ihm benannten *K*.schen Fernrohrs (astronomisches Fernrohr im Gegensatz zu dem von *Galilei* verbesserten terrestrischen oder holländischen Fernrohr, das zuerst ebenfalls im Jahr 1609 in Holland aufgetaucht war). *K*. kam auf Grund rein theoretischer Erwägungen auf diese Konstruktion, da ihm optische Hilfsmittel nur in dürftigstem Maße zur Hand waren. Seine Dioptrik erschien 1611 in Augsburg.

Schon in diesem Jahre scheint *K*. an eine Übersiedlung nach Linz gedacht zu haben. Dies geht wenigstens aus einem Brief *Jörgers* an *K*. (Dez. 1610) hervor. Prag war ihm ganz und gar verleidet. Er selbst schreibt später an seinen Freund *Krüger* hierüber: »Dieses Jahr [1611] war in jeder Hinsicht traurig und unheilvoll für mich.« Seine Frau erkrankte schwer an Melancholie, ungarischem Fieber und Epilepsie. Seine drei inzwischen gebornen Kinder bekamen gleichzeitig die Blattern, denen eins erlag. Dazu kamen Kriegswirren in nächster Nähe. Einen Teil Prags hatte *Erzherzog Leopold* besetzt, der andre, in dem *K*. wohnte, wurde von böhmischen Heerhaufen bedrängt, bis die Österreicher kamen und die Stadt entsetzten, aber zugleich verseuchten. Die kaum genesene Gattin *K*.s fiel dieser Seuche zum Opfer und starb am 3./7. 1611. Sie hat an *K*.s Seite fast nur schwere Zeiten verlebt und alle Arten von Ungemach über sich ergehen lassen müssen. Da ist es denn kein Wunder, daß sie zeitweilig den Mut sinken ließ, sie, die im Elternhause nichts von Sorgen erfahren hatte.

K. schildert sein Zusammenleben mit ihr an verschiedenen Stellen seiner Briefe. Er sagt u. a. in einem Schreiben an eine unbekannt gebliebene Frau: »Was aber Gott gethan, der verhenget hatt, dass meine besoldung mir gesperret gewest, und dass sie stättigs krankte und mit Melancholey beladen, derowegen sie immer verzagen wöllen an meinem rest [rück-

ständiges Gehalt?] und mir nit gestattet, dass Ich Ir hauptgutt angreiffe, Ja nit einen einigen Becher wöllen versetzen lassen, Item selbs nit wollen die hand an Ir geringes schatzgeltlin legen, als wurde sie darüber an bettelstab khommen, da kann Ich nit leügnen, das Ich nit allain mein laid an Irer vergeblichen Sparsamkhait gesehen, sondern auch oft sey verursachet worden, sie wegen Irer vnweise zu straffen mit zornigen worten . . . . . Summa sie ist zorniger art gewest, vnd wan sie eins Menschens wegen stättiger beywohnung gewohnt, hatt sie all Ir begehrn mit zorn fürgebracht, da hab Ich mich hingegen zum streitt auffbringen lassen vnd sie geraitzet, ist mir laid, hab mich wegen meins studirens nit alweg besunnen: hab aber an Ir lehrgelt geben vnd gelehrnet gedult zu haben. usw. (der lange Brief enthält vieles kulturhistorisch Interessante. Er steht bei *Frisch* pag. 811—815 Bd. VIII 2).

Noch in demselben Monat bot *K.* den Ständen von Österreich seine Dienste an. Sie nahmen *K.*s Gesuch günstig auf und bewilligten ihm 400 fl. Gehalt und 100 fl. Umzugskosten. Doch kam der Vertrag erst 1612 zustande, weil *Kaiser Rudolph* so lange zögerte, das Entlassungsgesuch *K.*s zu bestätigen. Die Staatskasse schuldete *K.* damals schon gegen 4000 Taler. *K.*, von dem der Ausspruch herrührt, das Heiraten gehöre zu den Sitten deutscher Gelehrter, sah sich nach einer zweiten Mutter für seine verwaisten kleinen Kinder um. Er hatte die Auswahl unter nicht weniger als 11 Wittwen und Jungfrauen, die er einzeln in einem launigen Briefe an den Baron *v. Strahlendorf* beschreibt. Seine Wahl fiel auf die schöne *Susanna Reutlinger* aus Effertingen in Österreich, die arm und von geringer Abkunft, aber bei der Baronin *v. Starenberg* erzogen und gebildet worden war. Sie zählte 24 Jahre als sie den 42jährigen *K.* heiratete (1613). Sieben Kinder gingen aus dieser in jeder Hinsicht glücklichen Ehe hervor.

In Linz blieb *K.* von 1612—1626 mit häufigen und längeren Unterbrechungen durch Reisen in amtlichen und persönlichen Angelegenheiten. Hier schrieb er an seinem »Epitome astronomiae copernicanae« (4 Bände) und an der »Harmonice mundi« (5 Bücher), in der er sein drittes Gesetz veröffentlichte: »Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich umgekehrt wie die Kuben ihrer mittleren Entfernung von der Sonne.«

In *K.*s Linzer Zeit fällt auch der Hexenprozeß, der gegen seine alte 70jährige Mutter in der Heimat angestrengt worden

war. Um sie vor der Tortur und dem sichern Tod auf dem Scheiterhaufen zu retten, ging *K.* nach Württemberg und verblieb daselbst ein und ein Vierteljahr, um alle Kräfte zur Verteidigung seiner Mutter anzuspannen.

Diese unruhige alte Frau hatte sich durch unvorsichtiges Benehmen in das Gerede der Leute gebracht. Den ersten Grund dazu legte sie bereits 20 Jahre vor der Anklage, als sie den Totengräber, der die alten Gräber umgrub, bat, ihr den Schädel ihres Vaters zu verschaffen, sie wolle ihn in Silber fassen lassen und ihrem Sohne, dem Mathematicus, zum Geschenk machen. Doch stand sie hiervon ab, als der Totengräber nicht darauf eingehen wollte. Andererseits machte sie sich ihren vorurteilsvollen Zeit- und Ortsgenossen dadurch verdächtig, daß sie überall in die Häuser lief und jedermann ihre Heilkünste aufdrängte.

Eine der *Kepler*schen Familie feindlich gesinnte Partei hatte dies zum Anlaß genommen, die alte, ahnungslose Frau der Hexerei zu verdächtigen, um sie dann bei passender Gelegenheit förmlich zu verklagen. Diese Gelegenheit führte *Katharina* durch fortgesetzte, unüberlegte Reden und Handlungen bald genug herbei. *K.* selbst sagte von ihr damals: »Sie war eine Frau von rauhem Gebahren, streitsüchtig und unruhigen Geistes, womit sie die ganze Stadt in Aufregung versetzt und sich selbst und den Ihrigen unendliches Unglück bereitet hat.«

Wohl hauptsächlich dem Ansehen und der Unermüdlichkeit ihres schon damals hochberühmten Sohnes hat sie es zu verdanken, daß sie vor der Tortur und dem schimpflichen Tode des Verbrennens bewahrt wurde. Aber auch sich selbst kann sie einen Anteil an dem günstigen Ausgange zuschreiben. Denn tapfer bestand sie die Probe der »Territion«. Im Bericht des Vorrichters heißt es darüber: »Da ich dann nach publicirter Vrthel in Beysein Hannss Stenglins, Jacob Schönbergers vnd Samuel Epplins, anfänglichen Sie Verhafftin im Thorstüblin in güettin [in Güte] nach notturfft besprochen, nachgehendz auch vff all Ir widersprechen vnd verlaugnen, Sie an den gewonlichen vnd zur Tortur bestimpten ortt füehren lassen, Ihr auch allda den Nachrichter vnder Augen gestellt, dessen instrumenta fürgezaigt, damit ernstlich vndt nach notturfft die Warhait anzuezaigen, vnd Ihr selbsten vor großem schmerzen vnd Pein zusein, erinnert. Hat Sie jedoch ohngeachtet aller ernstlicher erinnerung vnd Betrawungen der beschuldigten Hexerey halber durchaus lediglich nichzit gestendig

sein noch bekhennen wollen, mit anzaigen, man mache mit ihr was man wolle, vnd da mann Ihr schon auch ein Ader nach der andern auss dem Leib herauss ziehen soltte, so wüsste sie doch nichzit zuebekhennen, vnd allzuemit uff die Knie nider gefallen, ein Vater vnser gebetten vnd darauff vermeldendt, Gott solle allda ein Zaichen thuen, wann Si ein Hexin oder Vnholden seye, vnd jemahlen mit der Hexerey zuethuen gehabt habe. Sie wolle auch darauff sterben, Gott werde die Warhait an tag geben, vnd nach Ihrem Todt offenbahren, dass Ihrin Vnrecht vnd gewaltt geschehe, deme Sie Alles wolle bevohlen haben; dann Sie wisse, er werde seinen Hayligen Gaist nit von Ihr nemmen, sondern Ihr Beyständer sein [usw.] ..... Hat also uff vilfelttiges erinnern vnd betrowen [Bedrohen] nichzit bekhennen wellen, sonder uff Ihrem ieder Zeit widersprechen vnd verneinen, das Sie der Hexerey halber behafft sein solle, pure et constanter verbliben, des wegen Ich dan Sie widerumb in Ihr custodiam füehren lassen [usw.]

Deroselben etc den 28. Sept. 1621

Vogt zu Güglingen
J. V. Aulber.«

Darauf erfolgte von dem Oberrichter der Bescheid »... demnach die Kepplerin durch aussgestandene Territion die einkhommene indicia purgirt ... von angestelter Clag zue absolviren« usw. Der Oberrichter war offenbar froh, auf diese Weise den Prozeß niederschlagen zu können, denn es läßt sich nicht verkennen, daß es auch zu jener Zeit schon Richter gab, denen Hexenprozesse im höchsten Grade unangenehm waren. Diesen Eindruck gewinnt man wenigstens, wenn man sich die Mühe nimmt, *Katharina Keplers* Prozeßakten durchzustudieren (bei *Frisch* Bd. VIII 1. Seite 362—562, also 200 enggedruckte Seiten!).

Katharina K. überlebte ihre Befreiung nicht lange. Sie starb schon im Jahr darauf.

Trotz der Arbeit und den Sorgen, die ihm der Prozeß seiner Mutter verursachte, fand *K.* doch noch zwischen durch Zeit, gelehrte Abhandlungen zu schreiben. Er schrieb über die Mondfinsternisse des Jahres 1620 und an einer längeren Abhandlung über das *Kopernikanische* System (vgl. S. 16). Mit Recht sagt *v. Breitschwert* bei Erwähnung dieses Umstandes: »Sorgenfreie Muße wird insgemein für ein Bedürfnis des Denkers gehalten, aber bei diesem außerordentlichen Manne verhielt es sich anders. *K.* selbst löst uns das Rätsel.« »Diese Beschäftigung«,

chreibt er aus Württemberg an *Bernegger*, »macht mir zwar
ehr Mühe, als das Lesen derselben meinen Lesern, aber ich
höpfe auch aus ihr mehr Vergnügen, als alle meine Leser
sammen genommen.« Das »labor ipse voluptas«, das man
it Recht auf die Gelehrtenarbeit gemünzt hat, findet sich fast
rtlich in einem anderen Briefe *K.*s an *Crüger*: »Wenn Du
ir Deine Beobachtungen über Sonnenfinsternisse mitteilst, so
ast Du meine Arbeit und meine Wollust vermehren«. Und
einen anderen Freund: »Du hast mich durch deine Bitte
n Unterhaltung mit mathematischen Gegenständen glücklich
macht; die Astronomie ist die edelste Beschäftigung, weil
e den weisesten Schöpfer verherrlicht; gibt es daher etwas,
as den Menschen in diesem niederbeugenden Exil aufrichten
ann, so ist es diese Wissenschaft« (zitiert n. *v. Breitschwert*).

War nun auch *Katharina K.*s Prozeß durch eine Art Frei-
prechung beendet worden, so blieb doch nach Anschauung
er damaligen Zeit ein Makel auf dem Namen der Familie
aften, und die allzeit geschäftige Fama hatte dafür gesorgt,
aß sich die Kunde von dem Prozeß mit den üblichen Über-
reibungen und Zusätzen auch bis Linz verbreitete. Ob nun
ies die Ursache war, weshalb *K.* von Linz fortzukommen
trebte, oder ob ihn die sonstigen ungünstigen Umstände*) fort-
rieben, jedenfalls machte *K.* Anstrengungen, anderswo, am
iebsten aber in Württemberg eine Anstellung zu finden. Letz-
eres gelang ihm diesmal ebensowenig, wie bei seinem Weg-
ange von Graz. Angeblich weil er in Ulm bessere Mittel
und mehr Ruhe zur Drucklegung der *Rudolphini*schen Tafeln
ände, erbat und erhielt er vom Kaiser die Erlaubnis, dorthin
iberzusiedeln. Seine Familie ließ er in Regensburg (Nov. 1626).
Noch das ganze Jahr 1627 blieb er in Ulm, mit der Herstel-
ung der Tafeln beschäftigt, reiste dann nach Frankfurt, wegen
les Verlages und kehrte nach Ulm zurück. Dann ging er
on da über Regensburg nach Linz, um seine Angelegenheiten
öllig zu ordnen. Auch nach Prag kam *K.* noch einmal, um

---

*) *K.* war wegen seiner etwas abweichenden religiösen Über-
eugung durch den dortigen Pastor *Hitzler* vom Genuß des Abend-
nahles ausgeschlossen. Außerdem hatte die lange Belagerung der
Stadt Hungersnot und alle andere Schrecken einer solchen Zeit
gebracht. Und schließlich war vom Kaiser wieder ein Edikt ent-
assen, welches alle Lutheraner des Landes verwies. Doch wäre *K.*
hiervon gewiß wieder ausgenommen worden, wenn er sich darum
bemüht hätte.

restierendes Gehalt einzuforden. *Wallenstein*, der davon hörte, erbot sich, diese Gelder beizutreiben und *K.* zu sich nach Schlesien zu nehmen. Schlesien war damals die sicherste Provinz Österreichs, und mochte wohl *K.* die meiste Aussicht auf ungestörtes Arbeiten gewähren. Er nahm deshalb an und siedelte mit seiner Frau und den jüngeren Kindern nach Sagan über. Hier richtete er auch eine Druckerei ein, um die Ephemeriden zu vollenden. *Wallenstein*, bekanntlich der Astrologie blind ergeben, hoffte *K.* nach dieser Seite gründlich auszunutzen. Da aber *K.* die Astrologie nur mit Widerstreben und Vorbehalten auszuüben pflegte, so mußte *W.* noch den Astrologen *Zeno* (Seni) neben *K.* teuer besolden, was ihn seinerseits wohl abgeneigt machen mochte, sich der *K.*schen Forderungen an die kaiserliche Kasse energisch anzunehmen. Um sich dieser Verpflichtung zu entziehen, bestimmte *W.* den Senat der Universität Rostock, *K.* auf den dortigen Lehrstuhl der Mathematik zu berufen, was auch geschah. Aber *K.* in Furcht, hierdurch das Recht auf seine Forderung zu verlieren, wollte nicht eher annehmen, als bis der Herzog die Kaiserliche Genehmigung ausgewirkt habe, und der Rückstand bezahlt sei. Da *W.* dies nicht tun wollte, so verschlechterte sich das Verhältnis *K.*s zu *W.* mehr und mehr. 1630 erhielt *K.* den Besuch seiner neuvermählten Tochter und seines Schwiegersohnes *Jacob Bartsch*, Professor der Mathematik in Straßburg. Dies war wohl der letzte Lichtblick in *K.*s Leben. Kurze Zeit darauf erfolgte *W.*s Sturz und führte indirekt auch *K.*s Ende herbei. Um seine Ansprüche vor dem in Regensburg versammelten Reichstage persönlich geltend zu machen, machte sich *K.* auf die beschwerliche Reise von Sagan über Leipzig nach R. Von den Mühseligkeiten des langen, zu Pferd zurückgelegten Weges erschöpft, kam *K.* in R. an, erkrankte drei Tage später schwer und starb 59 Jahre alt am 15. Nov. 1630 in *Hildebrand Pyllus* Haus (Nr. 104 in der Donaustraße nach einer Angabe *W. Neumanns* aus dem Jahre 1864). Er ist auf dem damaligen Kirchhof von St. Peter unterhalb der Außenwerke der Stadt R. bestattet worden. Sein Grab wurde 1633 durch die einstürzenden Festungswerke verschüttet. An Stelle der alten Befestigungen sind später Gartenanlagen getreten, in denen *L. v. Dalberg*, Bischof von R. 1808 *Kepler* ein Denkmal setzen ließ. Erst spät folgte Weilderstadt diesem Beispiel. Das schönste Denkmal errichtete aber unserem *Kepler* der 1881 verstorbene Studienrektor Dr. *Ch. Frisch* (in

Stuttgart), indem er die vielen verstreuten Arbeiten und Briefe K.s in einer neunbändigen Gesamtausgabe vereinigte und mit einem laufenden (leider lateinischen) Kommentar versah. (Frankfurt 1870.) *Fr.* hat auf diese Riesenarbeit einen guten Teil seines Lebens verwendet (30 Jahre).

Glücklicherweise ist *K.* nicht so arm gestorben, wie man lange Zeit geglaubt hat. Das unmittelbar nach seinem Tode aufgenommene Inventar alles dessen, was er auf seiner letzten Reise an Barmitteln*), Kleidungsstücken und Reiseutensilien mit sich führte, läßt darüber keinen Zweifel. Sein Hauptnachlaß bestand allerdings in jenen Schuldforderungen an staatliche und städtische Behörden. Erst seinen Erben gelang deren Beitreibung durch Mithilfe hoher Gönner des Verstorbenen**).

Von seinen 12 Kindern überlebten ihn nur ein Sohn und eine Tochter längere Zeit. Direkte Nachkommen *K.*s gibt es nicht mehr.

Seine selbstverfaßte Grabschrift lautet:

> Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras.
> Mens coelestis erat, corporis umbra jacet.

Charakteristisch für seine Lebensanschauung ist die häufig von ihm zitierte Sentenz:

> »O curas hominum, o quantum est in rebus inane!«

Auch *K.*s literarischer Nachlaß hat noch mannigfache Schicksale erleben müssen. Er bestand aus 22 »Faszikeln« und ging zunächst in den Besitz des Sohnes über, der nur wenig davon veröffentlichte (Somnium seu de Astronomia Lunari). Nach seinem Tode brachte der Danziger Astronom *Hevel* die gesamten Manuskripte »mit nicht geringen Kosten« an sich. Von einem Feuer, das (1679) fast die gesamte Bibliothek *H.*s vernichtete, blieb *K.*s Nachlaß wunderbarerweise vollkommen verschont. *Hevel* starb 1687, und nun gelangten K.s Manuskripte (für 100 fl.) in den Besitz des Professors *Hanschius*, der die Absicht hatte, *K.*s sämtliche Werke zu veröffentlichen. Er kam aber nur dazu, *K.*s Briefe in einem starken Folianten (1717) der Öffentlichkeit zu übergeben, weil er gänzlich verarmte. Drei Bände Manuskripte sind seitdem im Besitze der Wiener k. k. Bibliothek, die übrigen wurden

*) Allein in Gold gegen 60 Dukaten.
**) Es waren ungefähr 16000 Gulden.

von *H.* an einen Frankfurter Kaufmann für 828 fl. verpfändet
Erst 1774 wurden sie, hauptsächlich auf *Murrs* und *Euler*
Betreiben durch die *Kaiserin Katharina II.* für 2000 Tale
ausgelöst, nach Petersburg gebracht und der Bibliothek de
dortigen Akademie einverleibt.

Von der umfassenden wissenschaftlichen Tätigkeit diese
außergewöhnlichen Mannes konnten wir in dem vorgeschriebene
engen Rahmen nur Andeutungen geben. Schon die bloße Auf
zählung aller seiner Schriften würde einen stattlichen Raun
beanspruchen. Bedenken wir aber, unter wie schwierige
äußeren und inneren Verhältnissen *K.* diese ungeheuere Arbei
geleistet hat, so stehen wir geradezu vor einem Rätsel.

Bewundernswert ist es auch, mit wie wenigen äußere
Mitteln *K.* die höchsten Leistungen erzielte. Dies zeigt sic
nicht bloß auf seinem Hauptgebiet der Astronomie, sonder
auch besonders bei der Abfassung seiner Dioptrik. Im Besit
von keinerlei anderen Instrumenten als ein paar Linsen, ha
er die Lehre von der Dioptrik und den wichtigsten optische
Instrumenten so vollständig geschaffen, daß er mit Recht de
Vater der modernen Optik genannt werden darf.

Die »Dioptrice« ist, wie die meisten Veröffentlichungen *K.*
in einem nicht immer leicht verständlichen Latein geschriebe
und deshalb wohl nur von wenigen gelesen. Der Übersetze
hielt es daher für ein verdienstliches Werk, dieses denkwürdig
Buch durch Verdeutschung einem größeren Leserkreise zu
gänglich zu machen. Hierbei erfreute er sich der Mitwirkun
des Herrn *P. v. Winterfeld*, durch die erst das Verständnis s
mancher sprachlich schwierigen Stelle erschlossen wurde. Au
optischem Gebiet erkennt er dasselbe von der freundliche
Beihilfe des Herrn *A. Gleichen* mit ebenso großem Danke a

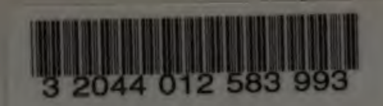
Berlin, August 1903.

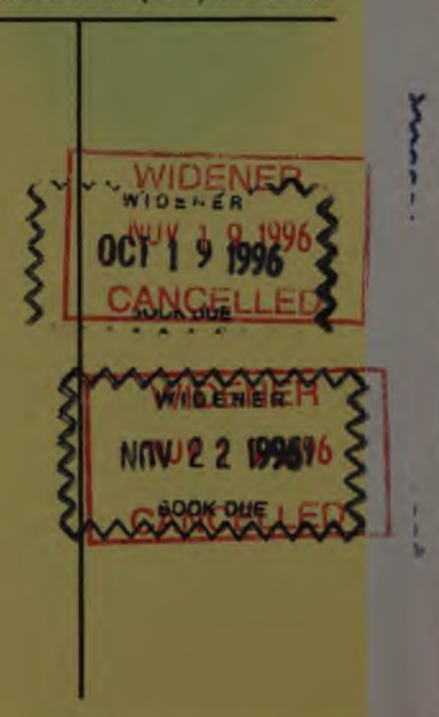
Ferdinand Plehn.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.






3 2044 012 583 993


WIDENER
WIDENER
OCT 1 9 1996
CANCELLED
WIDENER
NOV 2 2 1996
BOOK DUE

